

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-040211

(43)Date of publication of application : 08.02.2000

(51)Int.Cl.

G11B 5/39

(21)Application number : 10-204767

(71)Applicant : ALPS ELECTRIC CO LTD

(22)Date of filing : 21.07.1998

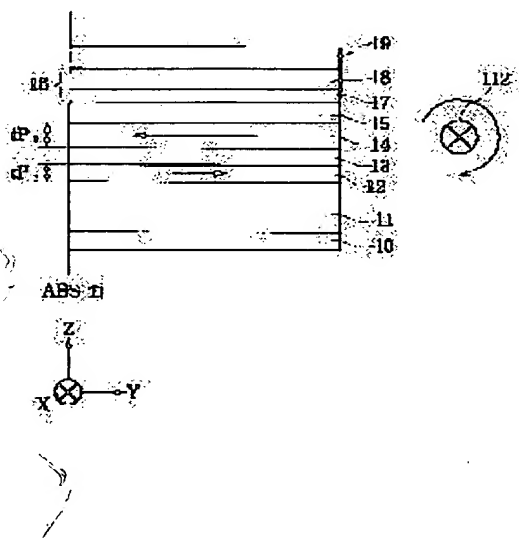
(72)Inventor : SAITO MASAJI
HASEGAWA NAOYA

(54) SPIN VALVE TYPE THIN-FILM ELEMENT AND THIN FILM MAGNETIC HEAD USING THIS SPIN VALVE TYPE THIN-FILM ELEMENT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a spin valve type thin-film element with which the magnetization states of fixed magnetic layers can be maintained in a thermally stable state by controlling the direction to pass sense current to be in an adequate direction and a thin film magnetic head using this spin valve type thin film element.

SOLUTION: The magnetic moment of a first fixed magnetic layer 12 is higher than the magnetic moment of a second fixed magnetic layer 14 and the magnetic moment of the first fixed magnetic layer 12 faces a left direction. The synthetic magnetic moment of the first fixed magnetic layer 12 and the second fixed magnetic layer 14, therefore, faces the left direction. The sense current 112 is consequently passed in an X-direction to generate the sense current magnetic field clockwise with respect to the plane of Fig., by which the direction of the sense current magnetic field and the direction of the synthetic magnetic moment are aligned and the stability of the magnetization state of the first and second fixed magnetic layer can be improved.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 14.07.1999

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3040751

[Date of registration] 03.03.2000

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

* NOTICES *

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] An antiferromagnetism layer and the fixed magnetic layer to which it is formed in in contact with this antiferromagnetism layer, and the magnetization direction is fixed by the switched connection field with said antiferromagnetism layer, By being formed in said fixed magnetic layer through a nonmagnetic conductive layer, having the free magnetic layer by which magnetization is arranged in the magnetization direction of said fixed magnetic layer, and the crossing direction, and passing a sense current in the direction which intersects fixed magnetization of said fixed magnetic layer In the spin bulb mold thin film by which the electric resistance which changes with the relation between fixed magnetization of a fixed magnetic layer and fluctuation magnetization of a free magnetic layer is detected said fixed magnetic layer Through the nonmagnetic interlayer, it is divided by the 1st fixed magnetic layer which touches an antiferromagnetism layer, and two-layer [of the 2nd fixed magnetic layer which touches a nonmagnetic conductive layer], and is formed in them. Said sense current The direction of the sense current field formed in the parts of the 1st fixed magnetic layer / nonmagnetic interlayer / 2nd fixed magnetic layer by passing said sense current, The spin bulb mold thin film characterized by passing the direction of the synthetic magnetic moment which adds the magnetic moment (saturation magnetization M_s and thickness t) of said 1st fixed magnetic layer, and the magnetic moment of the 2nd fixed magnetic layer, and is formed in the same direction and the direction which becomes.

[Claim 2] Said spin bulb mold thin film An antiferromagnetism layer, the 1st fixed magnetic layer, a nonmagnetic interlayer, The 2nd fixed magnetic layer, a nonmagnetic conductive layer, and a free magnetic layer are the formed single spin bulb mold thin films every much more. When the magnetic moment of said 1st fixed magnetic layer is larger than the magnetic moment of the 2nd fixed magnetic layer, said sense current The spin bulb mold thin film according to claim 1 passed in the direction in which the direction of the sense current field formed in the parts of the 1st fixed magnetic layer / nonmagnetic interlayer / 2nd fixed magnetic layer by passing said sense current becomes in the same direction as the direction of the magnetic moment of said 1st fixed magnetic layer.

[Claim 3] Said spin bulb mold thin film An antiferromagnetism layer, the 1st fixed magnetic layer, a nonmagnetic interlayer, The 2nd fixed magnetic layer, a nonmagnetic conductive layer, and a free magnetic layer are the formed single spin bulb mold thin films every much more. When the magnetic moment of said 1st fixed magnetic layer is smaller than the magnetic moment of the 2nd fixed magnetic layer, said sense current The spin bulb mold thin film according to claim 1 passed in the direction in which the direction of the sense current field formed in the parts of the 1st fixed magnetic layer / nonmagnetic interlayer / 2nd fixed magnetic layer by passing said sense current becomes in the same direction as the direction of the magnetic moment of said 2nd fixed magnetic layer.

[Claim 4] Said free magnetic layer is a spin bulb mold thin film according to claim 2 or 3 which is divided by two-layer and formed in it through the nonmagnetic middle class.

[Claim 5] The nonmagnetic interlayer currently formed between the free magnetic layers divided by two-layer [said] is a spin bulb mold thin film according to claim 4 currently formed with one sort or two sorts or more of alloys among Ru, Rh, Ir, Cr, Re, and Cu.

[Claim 6] Said spin bulb mold thin film is centered on a free magnetic layer. The nonmagnetic

conductive layer by which the laminating was carried out up and down, Three layers of the 2nd fixed magnetic layer / nonmagnetic interlayer by which the laminating was carried out on said one nonmagnetic conductive layer and to the bottom of the nonmagnetic conductive layer of another side / 1st fixed magnetic layer, It is the dual spin bulb mold thin film which has the antiferromagnetism layer by which the laminating was carried out on one 1st fixed magnetic layer and to the bottom of the 1st fixed magnetic layer of another side. The synthetic magnetic moment of the 1st fixed magnetic layer and the 2nd fixed magnetic layer by which the laminating was carried out to said free magnetic layer bottom, The synthetic magnetic moment of the 1st fixed magnetic layer and the 2nd fixed magnetic layer by which the laminating was carried out to the free magnetic layer bottom has turned to hard flow mutually. Said sense current The direction of the sense current field formed in the parts of the 1st fixed magnetic layer / nonmagnetic interlayer / 2nd fixed magnetic layer by passing said sense current The spin bulb mold thin film according to claim 1 passed in the direction of the synthetic magnetic moment in which the free magnetic layer was formed up and down, the same direction, and the direction which becomes.

[Claim 7] The magnetic moment of the 1st fixed magnetic layer formed above the free magnetic layer Are larger than the magnetic moment of the 2nd fixed magnetic layer formed above the free magnetic layer. And the magnetic moment of the 1st fixed magnetic layer formed below the free magnetic layer is smaller than the magnetic moment of the 2nd fixed magnetic layer formed below the free magnetic layer. And both fixed magnetization of the 1st fixed magnetic layer in which the free magnetic layer was formed up and down is spin bulb mold thin films according to claim 6 which have turned to the same direction.

[Claim 8] The magnetic moment of the 1st fixed magnetic layer formed above the free magnetic layer is smaller than the magnetic moment of the 2nd fixed magnetic layer formed above the free magnetic layer. And the magnetic moment of the 1st fixed magnetic layer formed below the free magnetic layer is larger than the magnetic moment of the 2nd fixed magnetic layer formed below the free magnetic layer. And both fixed magnetization of the 1st fixed magnetic layer in which the free magnetic layer was formed up and down is spin bulb mold thin films according to claim 6 which have turned to the same direction.

[Claim 9] Said antiferromagnetism layer is a spin bulb mold thin film according to claim 1 to 8 formed with a PtMn alloy.

[Claim 10] Said antiferromagnetism layer is a spin bulb mold thin film according to claim 1 to 8 formed by X-Mn (however, X is any one sort or two sorts or more of elements of Pd, Ir, Rh, and Ru).

[Claim 11] Said antiferromagnetism layer is a spin bulb mold thin film according to claim 1 to 8 formed by Pt-Mn-X' (however, X' is any one sort or two sorts or more of elements of Pd, Ir, Rh, Ru, Au, and Ag).

[Claim 12] The nonmagnetic interlayer formed between the 1st fixed magnetic layer and the 2nd fixed magnetic layer is a spin bulb mold thin film according to claim 1 to 11 formed with one sort or two sorts or more of alloys among Ru, Rh, Ir, Cr, Re, and Cu.

[Claim 13] The thin film magnetic head characterized by the thing of the spin bulb mold thin film indicated by either claim 1 thru/or claim 12 for which the shielding layer is formed through the gap layer up and down.

[Translation done.]

*** NOTICES ***

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the spin bulb mold thin film from which electric resistance changes by the relation between the fixed magnetization direction of a fixed magnetic layer, and the direction of the magnetization of a free magnetic layer influenced of an external magnetic field, and relates to the thin film magnetic head using the spin bulb mold thin film which can maintain magnetization of a fixed magnetic layer at the condition of having been stabilized more, and this spin bulb mold thin film by passing a sense current in the proper direction especially.

[0002]

[Description of the Prior Art] The cross-sectional view in which drawing 28 showed the conventional spin bulb mold thin film in mimetic diagram, and drawing 29 are the sectional views which looked at the spin bulb mold thin film shown in drawing 28 from the opposed face side with a record medium. A sign 1 is the substrate layer formed by Ta (tantalum) etc., the antiferromagnetism layer 2 is formed on this substrate layer 1, and the fixed magnetic layer 3 is further formed on said antiferromagnetism layer 2. By forming said fixed magnetic layer 3 in contact with said antiferromagnetism layer 2, a switched connection field (exchange anisotropy field) occurs in the interface of said fixed magnetic layer 3 and antiferromagnetism layer 2, and magnetization of said fixed magnetic layer is fixed for example, in the direction of illustration Y. On said fixed magnetic layer 3, the nonmagnetic conductive layer 4 formed by Cu etc. is formed, and the free magnetic layer 5 is further formed on said nonmagnetic conductive layer 4. In addition, a sign 6 is the protective layer formed by Ta etc.

[0003] As shown in drawing 29, magnetization of said free magnetic layer 5 is arranged in the direction of illustration X by the hard bias layers 7 and 7 formed with the Co-Pt (cobalt-platinum) alloy and conductive layers 8 and 8 being formed in the both sides of the layered product from the substrate layer 1 to a protective layer 6, for example, said hard bias layer 7 being magnetized in the direction of illustration X. This has relation which fluctuation magnetization of said free magnetic layer 5 and fixed magnetization of said fixed magnetic layer 3 intersect. In addition, a sign 6 is the protective layer formed by Ta etc.

[0004] In this spin bulb mold thin film, a sense current mainly flows from said conductive layer 8 focusing on the nonmagnetic conductive layer 4 to the direction of illustration X or the direction of illustration X, and hard flow. And if magnetization of said free magnetic layer 5 arranged in the direction of illustration X is changed by the leak field from record media, such as a hard disk, electric resistance will change by relation with fixed magnetization of the fixed magnetic layer 3 fixed in the direction of illustration Y, and the leak field from a record medium will be detected by the electrical-potential-difference change based on this electric resistance value change.

[0005]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] By the way, as mentioned above, a sense current field is formed by the principle of a right screw by passing a sense current, although a sense current mainly flows focusing on the small nonmagnetic conductive layer 4 of specific resistance from a conductive layer 8, and there is a problem that this sense current field affects fixed magnetization of said fixed magnetic layer 3. For example, although magnetization of the fixed magnetic layer 3 is turned in the direction of illustration Y as shown in drawing 28 The sense

current field formed by passing a sense current in the part of said fixed magnetic layer 3 Since the fixed magnetization direction of said fixed magnetic layer 3 and the direction of a sense current field are not in agreement a ***** case towards the direction of illustration Y, and hard flow, there is a problem that fluctuation and a magnetization condition destabilize [said fixed magnetization] in response to the effect of a sense current field.

[0006] NiO, a FeMn alloy, etc. have the especially small switched connection field (exchange anisotropy field) generated in an interface with the fixed magnetic layer 3 in said antiferromagnetism layer 2. Moreover, if it is when an antiferromagnetism ingredient with low blocking temperature is used If the fixed magnetization direction of the fixed magnetic layer 3 and the direction of a sense current field have relation of hard flow, degradation of fixed magnetization of said fixed magnetic layer 3 will be intense, and it will lead to destruction with said reversed fixed magnetization further.

[0007] Although it is in the inclination to pass many sense currents, in recent years since it corresponds to high recording density-ization, if it is by passing a 1mA sense current when the sense current field of about 30 (Oe) occurs, it turns out that a chip temperature rises by about 15 degrees C further and said dozens of mA sense current is passed for this reason, a rapid chip temperature rise and a huge sense current field will occur. For this reason, in order to raise the thermal stability of fixed magnetization of the fixed magnetic layer 3, there are choosing the antiferromagnetism ingredient with high and blocking temperature which generates the big switched connection field (exchange anisotropy field) at an interface with the fixed magnetic layer 3, and the need that magnetization of the fixed magnetic layer 3 is made not to destroy said sense current by a sink and the sense current field in the proper direction.

[0008] This invention aims at offering the thin film magnetic head using the spin bulb mold thin film which it is and can maintain the magnetization condition of said fixed magnetic layer at the condition were stabilized thermally, by improving the structure of a fixed magnetic layer, and the quality of the material of an antiferromagnetism layer especially, and controlling the direction which moreover passes a sense current in the proper direction and this spin bulb mold thin film for solving the above-mentioned conventional trouble.

[0009]

[Means for Solving the Problem] The fixed magnetic layer to which this invention is formed in contact with an antiferromagnetism layer and this antiferromagnetism layer, and the magnetization direction is fixed by the switched connection field with said antiferromagnetism layer, By being formed in said fixed magnetic layer through a nonmagnetic conductive layer, having the free magnetic layer by which magnetization is arranged in the magnetization direction of said fixed magnetic layer, and the crossing direction, and passing a sense current in the direction which intersects fixed magnetization of said fixed magnetic layer In the spin bulb mold thin film by which the electric resistance which changes with the relation between fixed magnetization of a fixed magnetic layer and fluctuation magnetization of a free magnetic layer is detected said fixed magnetic layer Through the nonmagnetic interlayer, it is divided by the 1st fixed magnetic layer which touches an antiferromagnetism layer, and two-layer [of the 2nd fixed magnetic layer which touches a nonmagnetic conductive layer], and is formed in them. Said sense current The direction of the sense current field formed in the parts of the 1st fixed magnetic layer / nonmagnetic interlayer / 2nd fixed magnetic layer by passing said sense current, The direction of the synthetic magnetic moment which adds the magnetic moment (saturation magnetization M_s and thickness t) of said 1st fixed magnetic layer and the magnetic moment of the 2nd fixed magnetic layer, and is formed is characterized by passing in the same direction and the direction which becomes.

[0010] In this invention, moreover, said spin bulb mold thin film An antiferromagnetism layer, the 1st fixed magnetic layer, a nonmagnetic interlayer, the 2nd fixed magnetic layer, A nonmagnetic conductive layer and a free magnetic layer are the formed single spin bulb mold thin films every much more. When the magnetic moment of said 1st fixed magnetic layer is larger than the magnetic moment of the 2nd fixed magnetic layer, said sense current By passing said sense current, the direction of the sense current field formed in the parts of the 1st fixed magnetic layer / nonmagnetic interlayer / 2nd fixed magnetic layer needs to be passed in the direction which becomes in the same direction as the direction of the magnetic moment of said 1st fixed

magnetic layer.

[0011] Said spin bulb mold thin film Or an antiferromagnetism layer, the 1st fixed magnetic layer, A nonmagnetic interlayer, the 2nd fixed magnetic layer, a nonmagnetic conductive layer, and a free magnetic layer are the formed single spin bulb mold thin films every much more. When the magnetic moment of said 1st fixed magnetic layer is smaller than the magnetic moment of the 2nd fixed magnetic layer, said sense current By passing said sense current, the direction of the sense current field formed in the parts of the 1st fixed magnetic layer / nonmagnetic interlayer / 2nd fixed magnetic layer needs to be passed in the direction which becomes in the same direction as the direction of the magnetic moment of said 2nd fixed magnetic layer. Moreover, as for said free magnetic layer, in this invention, it is desirable for it to be divided by two-layer and to be formed in it through a nonmagnetic interlayer. Furthermore, as for the nonmagnetic interlayer currently formed between the free magnetic layers divided by two-layer [said], it is desirable to be formed with one sort or two sorts or more of alloys among Ru, Rh, Ir, Cr, Re, and Cu.

[0012] In this invention, moreover, said spin bulb mold thin film Three layers of the 2nd fixed magnetic layer / nonmagnetic interlayer by which the laminating was carried out the core [a free magnetic layer] on the nonmagnetic conductive layer by which the laminating was carried out up and down, and said one nonmagnetic conductive layer, and to the bottom of the nonmagnetic conductive layer of another side / 1st fixed magnetic layer, It is the dual spin bulb mold thin film which has the antiferromagnetism layer by which the laminating was carried out on one 1st fixed magnetic layer and to the bottom of the 1st fixed magnetic layer of another side. The synthetic magnetic moment of the 1st fixed magnetic layer and the 2nd fixed magnetic layer by which the laminating was carried out to said free magnetic layer bottom, The synthetic magnetic moment of the 1st fixed magnetic layer and the 2nd fixed magnetic layer by which the laminating was carried out to the free magnetic layer bottom has turned to hard flow mutually. Said sense current By passing said sense current, the direction of the sense current field formed in the parts of the 1st fixed magnetic layer / nonmagnetic interlayer / 2nd fixed magnetic layer needs to be passed in the direction of the synthetic magnetic moment in which the free magnetic layer was formed up and down, the same direction, and the direction which becomes.

[0013] In the dual spin bulb mold thin film mentioned above about the magnitude of the magnetic moment of the 1st concrete fixed magnetic layer and the 2nd fixed magnetic layer The magnetic moment of the 1st fixed magnetic layer formed above the free magnetic layer is larger than the magnetic moment of the 2nd fixed magnetic layer formed above the free magnetic layer. And the magnetic moment of the 1st fixed magnetic layer formed below the free magnetic layer is smaller than the magnetic moment of the 2nd fixed magnetic layer formed below the free magnetic layer. And both fixed magnetization of the 1st fixed magnetic layer in which the free magnetic layer was formed up and down needs to turn to the same direction. Or the magnetic moment of the 1st fixed magnetic layer formed above the free magnetic layer is smaller than the magnetic moment of the 2nd fixed magnetic layer formed above the free magnetic layer. And the magnetic moment of the 1st fixed magnetic layer formed below the free magnetic layer is larger than the magnetic moment of the 2nd fixed magnetic layer formed below the free magnetic layer. And both fixed magnetization of the 1st fixed magnetic layer in which the free magnetic layer was formed up and down needs to turn to the same direction.

[0014] As for said antiferromagnetism layer, in this invention, being formed with a PtMn alloy is desirable. Or said antiferromagnetism layer may be formed by X-Mn (however, X is one-sort [any] or two sorts or more of elements of Pd, Ir, Rh, and Ru), or Pt-Mn-X' (however, X' is any one sort or two sorts or more of elements of Pd, Ir, Rh, Ru, Au, and Ag). Moreover, as for the nonmagnetic interlayer formed between the 1st fixed magnetic layer and the 2nd fixed magnetic layer in this invention, it is desirable to be formed with one sort or two sorts or more of alloys among Ru, Rh, Ir, Cr, Re, and Cu. Moreover, the thin film magnetic head in this invention is characterized by the thing of the pin bulb mold thin film mentioned above for which the shielding layer is formed through the gap layer up and down.

[0015] In this invention, the fixed magnetic layer which constitutes a spin bulb mold thin film is divided by two-layer, and the nonmagnetic interlayer is formed between the fixed magnetic layers divided by two-layer. The anti-parallel condition is magnetized and magnetization of this

divided two-layer fixed magnetic layer is in the so-called ferry condition that the magnitude of the magnetic moment of the fixed magnetic layer which is moreover one side differs from the magnitude of the magnetic moment of the fixed magnetic layer of another side. It is in the condition that it was magnetized by anti-parallel where a two-layer fixed magnetic layer is stabilized very much since the switched connection field (RKKY interaction) generated between two-layer fixed magnetic layers was very as large as 1000 (Oe) to 5000 (Oe).

[0016] By the way, magnetization is fixed in the direction (the height direction) which separates from an opposed face with a record medium by the switched connection field (exchange anisotropy field) which generates the fixed magnetic layer (the 1st fixed magnetic layer is called hereafter) of the side to which the fixed magnetic layer is formed in contact with the antiferromagnetism layer, and while anti-parallel (ferry condition) were magnetized touches this antiferromagnetism layer in an interface with said antiferromagnetism layer. Thereby, magnetization of the fixed magnetic layer (the 2nd fixed magnetic layer is called hereafter) which counters through said the 1st fixed magnetic layer and nonmagnetic interlayer is fixed in the condition of magnetization of said 1st fixed magnetic layer, and anti-parallel. In the former, it becomes possible to maintain the magnetization condition of the 1st fixed magnetic layer and the 2nd fixed magnetic layer at the condition of having been stabilized very much to the external magnetic field by forming the part currently formed by two-layer [of an antiferromagnetism layer and a fixed magnetic layer] by this invention at four layers of an antiferromagnetism layer / the 1st fixed magnetic layer / nonmagnetic interlayer / 2nd fixed magnetic layer.

[0017] By the way, in recent years, there is a possibility that the magnetization condition of said 1st fixed magnetic layer and the 2nd fixed magnetic layer may destabilize according to increase of the temperature rise by the rise of the temperature in equipment by the increment in the rotational frequency of a record medium and the increment in the amount of sense currents and a sense current field, with a raise in recording density. Although said sense current is passed in the magnetization direction of the 1st fixed magnetic layer and the 2nd fixed magnetic layer, and the crossing direction (the same direction as the magnetization direction of a free magnetic layer, or hard flow) By passing said sense current, a sense current field occurs with the principle of a right screw. This sense current field the parts of the 1st fixed magnetic layer / nonmagnetic interlayer / 2nd fixed magnetic layer — setting — the same direction as the magnetization direction of said 1st fixed magnetic layer (or 2nd fixed magnetic layer) — or it trespasses upon hard flow.

[0018] Although the magnetic moment of said 1st fixed magnetic layer and the magnetic moment of the 2nd fixed magnetic layer are formed with a different value and magnetization of said 1st fixed magnetic layer and magnetization of the 2nd fixed magnetic layer are in the condition that the anti-parallel condition was magnetized, by this as mentioned above In this invention, the sense current is made to change into the condition that the magnetization condition of the 1st fixed magnetic layer and the 2nd fixed magnetic layer was stabilized more thermally, by the sink and the sense current field in the proper direction using a difference of the magnitude of the magnetic moment of said 1st fixed magnetic layer and the 2nd fixed magnetic layer. In the single spin bulb mold thin film, when the magnetic moment of the 1st fixed magnetic layer is larger than the magnetic moment of the 2nd fixed magnetic layer, specifically, the synthetic magnetic moment which adds the 1st magnetic moment and 2nd magnetic moment of a fixed magnetic layer, and can search for them is suitable in the same direction as the magnetic moment of the 1st fixed magnetic layer.

[0019] And in this invention, by passing a sense current, the direction which passes a sense current is adjusted and it becomes possible to maintain the magnetization condition of the 1st fixed magnetic layer and the 2nd fixed magnetic layer at the condition of having been stabilized thermally so that the direction of the sense current field formed in the parts of the 1st fixed magnetic layer / nonmagnetic interlayer / 2nd fixed magnetic layer and the direction of said synthetic magnetic moment may be in agreement.

[0020] Furthermore, by this invention, in a dual spin bulb mold thin film, the synthetic magnetic moment in which a free magnetic layer is formed up and down so that it may become hard flow mutually By adjusting the magnetic moment of the 1st fixed magnetic layer and the 2nd fixed magnetic layer etc., and passing a sense current The direction of the sense current field formed

in the parts of the 1st fixed magnetic layer / nonmagnetic interlayer who can set a free magnetic layer up and down / 2nd fixed magnetic layer, and the direction of said synthetic magnetic moment are made in agreement. By this It becomes possible to maintain the magnetization condition of the 1st fixed magnetic layer and the 2nd fixed magnetic layer at the condition of having been stabilized thermally.

[0021] Moreover, in this invention, the stability of the magnetization condition of the 1st fixed magnetic layer and the 2nd fixed magnetic layer is raised according to various conditions besides control of the direction which passes a sense current. It is enlarging the switched connection field (exchange anisotropy field) first generated in the interface of an antiferromagnetism layer and the 1st fixed magnetic layer in the 1st. Although the switched connection field (exchange anisotropy field) generated in an interface with an antiferromagnetism layer as mentioned above is fixed in a certain fixed direction, if this switched connection field of magnetization of the 1st fixed magnetic layer is weak, fixed magnetization of the 1st fixed magnetic layer will not be stabilized by it, but it will become easy to change it by an external magnetic field etc. with a field. For this reason, the large thing of the switched connection field (exchange anisotropy field) generated in an interface with an antiferromagnetism layer is desirable, and a PtMn alloy can be shown in this invention as an antiferromagnetism layer which can acquire a large switched connection field by the interface with the 1st fixed magnetic layer. Moreover, it may replace with a PtMn alloy and an X-Mn (X is Pd, Ir, Rh, and Ru) alloy and a Pt-Mn-X' (X' is Pd, Ir, Rh, Ru, Au, and Ag) alloy may be used.

[0022] It has the property which was excellent as an antiferromagnetism ingredient, such as these antiferromagnetism ingredient having a large switched connection field compared with NiO and the FeMn alloy which are used as an antiferromagnetism ingredient from the former, a NiMn alloy, etc., and blocking temperature being high, and excelling in corrosion resistance further. Drawing 26 is the R-H curve of the spin bulb mold thin film in this invention which used the PtMn alloy for the antiferromagnetism layer and divided the fixed magnetic layer through the nonmagnetic interlayer to two-layer [of the 1st fixed magnetic layer and the 2nd fixed magnetic layer], and the spin bulb mold thin film in the former which formed the fixed magnetic layer by the monolayer.

[0023] The film configuration of the spin bulb mold thin film in this invention Si substrate / alumina / Ta(30) / antiferromagnetism layer from the bottom ;P They are (20) / Cu(20) / Co (10) / NiFe(40) / Ta (30). tMn (200) / fixed magnetic layer [of ** a 1st]; — Co(25) / nonmagnetic interlayer; — Ru (7) / fixed magnetic layer [of ** a 2nd]; — Co — the film configuration of the spin bulb mold thin film in the former — Si substrate / alumina / Ta(30) / antiferromagnetism layer from the bottom ;P tMn (300) / fixed magnetic layer; — Co — they are (25) / Cu(20) / Co(10) / NiFe(40) / Ta (30). In addition, the numeric value in a parenthesis shows thickness and a unit is angstrom. In addition, this invention and the spin bulb mold thin film in the former performed heat treatment of 4 hours at 260 degrees C after membrane formation, impressing the magnetic field of 200 (Oe).

[0024] As shown in drawing 26 , deltaMR (resistance rate of change) of the spin bulb mold thin film in this invention understands that how depending on which deltaMR in this invention falls is loose compared with how depending on which deltaMR of the spin bulb mold thin film in the former falls, although it is for 7 - 8% at maximum and the aforementioned deltaMR falls by giving a negative external magnetic field. By this invention, it is determined as the switched connection field (Hex) in which a spin bulb mold thin film generates the magnitude of the external magnetic field when becoming the value of the one half of the maximum of deltaMR here.

[0025] As shown in drawing 26 , in the spin bulb mold thin film in the former, maximum deltaMR is about 8% and it turns out that an external magnetic field (switched connection field (Hex)) in case the aforementioned deltaMR becomes half is about 900 (Oe) in an absolute value. On the other hand, in the spin bulb mold thin film in this invention, although maximum deltaMR is about 7.5% and falls a little compared with the former, an external magnetic field (switched connection field (Hex)) in case the aforementioned deltaMR becomes half is about 2800 (Oe) in an absolute value, and it turns out that it becomes very large compared with the former.

[0026] Thus, if it is in the spin bulb mold thin film in this invention which divided the fixed magnetic layer to two-layer, compared with the conventional spin bulb mold thin film which

formed the fixed magnetic layer by one layer, a switched connection field (Hex) can be enlarged by leaps and bounds, and it turns out that the stability of magnetization of a fixed magnetic layer can be improved compared with the former. Moreover, it turns out that it can seldom fall compared with the former by this invention also about deltaMR, but high deltaMR can be maintained.

[0027] Next, drawing 27 is a graph which uses four kinds of spin bulb mold thin films, and shows the relation between environmental temperature and a switched connection field. The spin bulb mold thin film of one item used first It is a spin bulb mold thin film in this invention which used the PtMn alloy for the antiferromagnetism layer and divided the fixed magnetic layer to two-layer. As a film configuration Si substrate / alumina / Ta(30) / antiferromagnetism layer from the bottom ;P tMn (200) / fixed magnetic layer [of ** a 1st]; -- Co(25) / nonmagnetic interlayer; -- Ru (7) / fixed magnetic layer [of ** a 2nd]; -- Co -- they are (20) / Cu(20) / Co(10) / NiFe (70) / Ta (30). the conventional example 1 which the 2nd kind used the PtMn alloy for the antiferromagnetism layer, and formed the fixed magnetic layer by the monolayer -- it is -- as a film configuration -- Si substrate / alumina / Ta(30) / antiferromagnetism layer from the bottom ;P tMn (300) / fixed magnetic layer; -- Co -- they are (25) / Cu(25) / Co(10) / NiFe (70) / Ta (30). the conventional example 2 which the 3rd kind used NiO for the antiferromagnetism layer, and formed the fixed magnetic layer by the monolayer -- it is -- as a film configuration -- Si substrate / alumina / antiferromagnetism layer;NiO (500) / fixed magnetic layer;Co from the bottom -- they are (25) / Cu(25) / Co(10) / NiFe(70) / Ta (30). The 4th kind is the conventional examples 3 which used the FeMn alloy for the antiferromagnetism layer and formed the fixed magnetic layer by the monolayer, and is NiFe [from the bottom / Si substrate / alumina / Ta(30) / NiFe] (70)/Co (10)/Cu (25) / fixed magnetic layer;Co(25) / antiferromagnetism layer;FeMn (150) / Ta (30) as a film configuration. In addition, the numeric value in the parenthesis of all four kinds of film configurations mentioned above shows thickness, and a unit is angstrom.

[0028] Moreover, in this invention and the conventional example 1 which used PtMn for the antiferromagnetism layer, heat treatment of 4 hours has been performed at 260 degrees C after membrane formation, impressing the magnetic field of 200 (Oe). Moreover, in the conventional examples 2 and 3 which used NiO and FeMn for the antiferromagnetism layer, heat treatment has not been performed after membrane formation.

[0029] It turns out that the switched connection field (Hex) is very high with about 2500 (Oe) in the spin bulb mold thin film in this invention when environmental temperature is about 20 degrees C as shown in drawing 27 . On the other hand, as for almost at least 20 degrees C of environmental temperature, in the conventional example 2 which used NiO for the antiferromagnetism layer, and the conventional example 3 which used FeMn for the antiferromagnetism layer, the switched connection field (Hex) has become as low as below about 500 (Oe). Moreover, it turns out that PtMn is used for an antiferromagnetism layer, and environmental temperature has generated the switched connection field of 1000 (Oe) extent at about 20 degrees C, and a bigger switched connection field can be acquired rather than it uses NiO (conventional example 2) and FeMn (conventional example 3) for an antiferromagnetism layer if it is in the conventional example 1 which formed the fixed magnetic layer by the monolayer.

[0030] In the publication-number No. 16920 [nine to] official report, NiO is used for an antiferromagnetism layer and the R-H curve of the spin bulb mold thin film which formed the fixed magnetic layer by two-layer through the nonmagnetic middle class is shown in drawing 8 . Although [according to drawing 8 of an official report] the switched connection field (Hex) of 600 (Oe) can be acquired, this numeric value uses PtMn for an antiferromagnetism layer, and it turns out that it is low compared with the switched connection field (about 1000 (Oe); conventional example 1) at the time of forming a fixed magnetic layer by the monolayer. Namely, if it is when NiO is used for an antiferromagnetism layer Since a switched connection field becomes low rather than the case where use PtMn for an antiferromagnetism layer and a fixed magnetic layer is formed by the monolayer even if it divides a fixed magnetic layer to two-layer and changes magnetization of said two-layer fixed magnetic layer into a ferry condition, Using a PtMn alloy for an antiferromagnetism layer turns out to be desirable in that a larger switched

connection field can be acquired.

[0031] Moreover, as shown in drawing 27, when NiO or a FeMn alloy is used for an antiferromagnetism layer and environmental temperature becomes about 200 degrees C, it turns out that a switched connection field is set to 0 (Oe). This is because the blocking temperature of said NiO and FeMn is as low as about 200 degrees C. On the other hand, in the conventional example 1 which used the PtMn alloy for the antiferromagnetism layer, when environmental temperature becomes about 400 degrees C, the switched connection field has become 0 (Oe) and said PtMn alloy is used, it turns out that the magnetization condition of a fixed magnetic layer can be maintained at the condition of having been stabilized very much thermally.

[0032] Although it will be thought also in the spin bulb mold thin film in this invention shown in drawing 27 that a switched connection field is set to 0 (Oe) if it becomes about 400 degrees C since blocking temperature is governed by the quality of the material used as an antiferromagnetism layer. In the case where a PtMn alloy is used for an antiferromagnetism layer like this invention. If it is possible to acquire high blocking temperature compared with NiO etc., a fixed magnetic layer is moreover divided to two-layer and magnetization of said two-layer fixed magnetic layer is changed into a ferry condition. By the time it reaches blocking temperature, a very large switched connection field can be acquired, and it becomes possible to maintain the magnetization condition of said two-layer fixed magnetic layer at the condition of having been stabilized thermally.

[0033] moreover, as a nonmagnetic interlayer currently formed between the 1st fixed magnetic layer and the 2nd fixed magnetic layer in this invention. When one sort or two sorts or more in Ru, Rh, Ir, Cr, Re, and Cu are used and an antiferromagnetism layer is formed below a free magnetic layer in said nonmagnetic interlayer's thickness, It is changing by the case where it is formed in the bottom, and a switched connection field (Hex) can be enlarged by forming said nonmagnetic interlayer by the thickness of proper within the limits. In addition, said nonmagnetic interlayer's suitable thickness value is explained in full detail, referring to a graph later.

[0034] If a fixed magnetic layer is furthermore divided and formed in two-layer according to this invention, even if it makes thin thickness of the antiferromagnetism layer formed with a PtMn alloy etc., it will be possible to acquire a large switched connection field (Hex), and comprehensive thickness of said whole spin bulb mold thin film can be made thin by the ability of the antiferromagnetism layer which had the thickest thickness in the film configuration of a spin bulb mold thin film to be made thin. It is possible to be able to shorten the distance from the gap layer formed in the spin bulb mold thin-film bottom to the gap layer formed in the spin bulb mold thin-film bottom, i.e., gap length, and to deal with narrow gap-ization by the ability of an antiferromagnetism layer to be formed thinly, even if it makes thick to extent which can fully maintain insulation thickness of a gap layer in which said spin bulb mold thin film is formed up and down.

[0035] By the way, when a fixed magnetic layer was divided through a nonmagnetic interlayer to two-layer [of the 1st fixed magnetic layer and the 2nd fixed magnetic layer] and the thickness of said 1st fixed magnetic layer and the 2nd fixed magnetic layer was formed with the same value like this invention, the experiment showed that a switched connection field (Hex) and deltaMR (resistance rate of change) fell extremely. If the thickness of the 1st fixed magnetic layer and the 2nd fixed magnetic layer is formed by the same thickness. It is surmised that it is because the magnetization condition of said 1st fixed magnetic layer and the 2nd fixed magnetic layer stops being able to become anti-parallel (ferry condition) easily, and since the magnetization condition of said 1st fixed magnetic layer and the 2nd fixed magnetic layer is not in an anti-parallel condition. It will become impossible to control whenever [with fluctuation magnetization of a free magnetic layer / angular relation] proper.

[0036] so, in this invention, a large switched connection field obtains by not forming said 1st fixed magnetic layer and the 2nd fixed magnetic layer by the same thickness, but forming them by different thickness -- having -- coincidence -- deltaMR -- the former and until comparable -- it is possible to make it high. In addition, the thickness ratio of the 1st fixed magnetic layer and the 2nd fixed magnetic layer is explained in full detail with reference to a graph later.

[0037] By this invention, a fixed magnetic layer is divided through a nonmagnetic interlayer to two-layer [of the 1st fixed magnetic layer and the 2nd fixed magnetic layer] as mentioned

above. Furthermore, by the interface with said 1st fixed magnetic layer, such as a PtMn alloy, as an antiferromagnetism layer by using the antiferromagnetism ingredient which demonstrates a large switched connection field (exchange anisotropy field) The switched connection field (Hex) of the whole spin bulb mold thin film can be enlarged, and it is possible to maintain magnetization of the 1st fixed magnetic layer and the 2nd fixed magnetic layer at the anti-parallel condition (ferry condition) stabilized thermally.

[0038] By controlling the direction which especially passes a sense current by this invention in the proper direction The direction of the sense current field formed by passing a sense current, The direction of the synthetic magnetic moment which adds the magnetic moment of the 1st fixed magnetic layer and the magnetic moment of the 2nd fixed magnetic layer, and can search for them is made in agreement. By this The magnetization condition of said 1st fixed magnetic layer and the 2nd fixed magnetic layer will be thermally stabilized possible more by *****.

[0039]

[Embodiment of the Invention] The cross-sectional view having shown the spin bulb mold thin film of the 1st operation gestalt [in / in drawing 1 / this invention] in mimetic diagram and drawing 2 are the sectional views which looked at the spin bulb mold thin film of drawing 1 from the opposed face side with a record medium. The shielding layer is formed in the upper and lower sides of this spin bulb mold thin film through the gap layer, and the thin film magnetic head for playback (MR head) consists of said spin bulb mold thin film, a gap layer, and a shielding layer. In addition, on the thin film magnetic head for said playback, the laminating of the inductive head for record may be carried out.

[0040] Said thin film magnetic head is prepared in the trailing side edge section of the surfacing type slider formed in the hard disk drive unit etc., and detects record fields, such as a hard disk. In addition, the migration direction of magnetic-recording media, such as a hard disk, is an illustration Z direction, and the direction of the leak field from a magnetic-recording medium is the direction of Y.

[0041] Much more, every, it is the formed so-called single spin bulb mold thin film, and an antiferromagnetism layer, a fixed magnetic layer, a nonmagnetic conductive layer, and the free magnetic layer of drawing 1 and the spin bulb mold thin film shown in 2 are the substrate layers 10 in which the layer formed in the bottom was formed by non-magnetic materials, such as Ta. In drawing 1 and 2, the antiferromagnetism layer 11 is formed on said substrate layer 10, and the 1st fixed magnetic layer 12 is formed on said antiferromagnetism layer 11. And as shown in drawing 1, the nonmagnetic interlayer 13 is formed on said 1st fixed magnetic layer 12, and the 2nd fixed magnetic layer 14 is further formed on said nonmagnetic interlayer 13.

[0042] Said 1st fixed magnetic layer 12 and the 2nd fixed magnetic layer 14 are formed with for example, Co film, the NiFe alloy, the CoNiFe alloy, the CoFe alloy, etc. Moreover, as for said antiferromagnetism layer 11, in this invention, being formed with the PtMn alloy is desirable. Compared with a NiMn alloy, a FeMn alloy, etc. which are used as an antiferromagnetism layer from the former, it excels in corrosion resistance, and moreover, a PtMn alloy has high blocking temperature and its switched connection field (exchange anisotropy field) is also large. Moreover, in this invention, it replaces with said PtMn alloy and may be formed with the X-Mn (however, X is one-sort [any] or two sorts or more of elements of Pd, Ir, Rh, and Ru) alloy, or the Pt-Mn-X' (however, X' is one-sort [any] or two sorts or more of elements of Pd, Ir, Rh, Ru, Au, and Ag) alloy.

[0043] By the way, the arrow head shown in the 1st fixed magnetic layer 12 and the 2nd fixed magnetic layer 14 which are shown in drawing 1 expresses the magnitude of each magnetic moment, and its direction, and the magnitude of said magnetic moment is determined with the value to which saturation magnetization (Ms) and thickness (t) were applied. Since it is formed according to the quality of the material with same 1st fixed magnetic layer 12 and 2nd fixed magnetic layer 14 which are shown in drawing 1, for example, Co film, and the thickness tP2 of the 2nd fixed magnetic layer 14 is moreover formed more greatly than the thickness tP1 of the 1st fixed magnetic layer 12, compared with the 1st fixed magnetic layer 12, the magnetic moment is [the direction of the 2nd fixed magnetic layer 14] large. In addition, in this invention, it needs to have the magnetic moment from which the 1st fixed magnetic layer 12 and the 2nd fixed magnetic layer 14 differ, therefore the thickness tP1 of the 1st fixed magnetic layer 12 may

be formed more thickly than the thickness tP2 of the 2nd fixed magnetic layer 14.

[0044] As shown in drawing 1, the 1st fixed magnetic layer 12 is magnetized in the direction of illustration Y, i.e., the direction which separates from a record medium, (the height direction), and magnetization of the 2nd fixed magnetic layer 14 which counters through the nonmagnetic interlayer 13 is magnetized by the magnetization direction of said 1st fixed magnetic layer 12, and anti-parallel. By forming the 1st fixed magnetic layer 12 in contact with the antiferromagnetism layer 11, and giving annealing in a magnetic field (heat treatment), as a switched connection field (exchange anisotropy field) occurs in the interface of said 1st fixed magnetic layer 12 and antiferromagnetism layer 11, for example, it is shown in drawing 1, magnetization of said 1st fixed magnetic layer 12 is fixed in the direction of illustration Y.

Magnetization of the 2nd fixed magnetic layer 14 which magnetization of said 1st fixed magnetic layer 12 will counter through the nonmagnetic interlayer 12 if fixed in the direction of illustration Y is fixed in the condition of magnetization of the 1st fixed magnetic layer 12, and anti-parallel.

[0045] In this invention, the thickness ratio tP 2 of the thickness tP1 of said 1st fixed magnetic layer 12 and the 2nd fixed magnetic layer 14 is rationalized, and, as for (thickness tP1 of 1st fixed magnetic layer)/(thickness tP2 of the 2nd fixed magnetic layer), it is desirable that it is within the limits of 0.33 to 0.95, or 1.05-4. If it is this within the limits, a switched connection field can be enlarged, but if the thickness of the 1st fixed magnetic layer 12 and the 2nd fixed magnetic layer 14 itself becomes thick at above-mentioned within the limits, since a switched connection field tends to fall, it will rationalize the thickness of the 1st fixed magnetic layer 12 and the 2nd fixed magnetic layer 14 by this invention.

[0046] It is desirable that it is within the limits the thickness tP1 of the 1st fixed magnetic layer 12 and whose thickness tP2 of the 2nd fixed magnetic layer 14 are 10-70Å in this invention, and the absolute value which lengthened the thickness tP2 of the 2nd fixed magnetic layer 14 from the thickness tP1 of the 1st fixed magnetic layer 12 is 2Å or more. If it is within the limits and a thickness ratio and thickness are adjusted [above-mentioned] proper, it is possible to acquire the switched connection field (Hex) more than at least 500 (Oe). A switched connection field is the magnitude of the external magnetic field when being set to ΔMR of the one half of maximum ΔMR (resistance rate of change) here. Said switched connection field (Hex) It is a synthetic thing including all the fields, such as a switched connection field (RKKY interaction) generated between the switched connection field (exchange anisotropy field) and the 1st fixed magnetic layer 12 which are generated in the interface of the antiferromagnetism layer 11 and the 1st fixed magnetic layer 12, and the 2nd fixed magnetic layer 14.

[0047] Moreover, as for aforementioned (thickness tP1 of the 1st fixed magnetic layer)/(thickness tP2 of the 2nd fixed magnetic layer), in this invention, it is more desirable that it is within the limits of 0.53 to 0.95, or 1.05-1.8. Moreover, it is [above-mentioned] within the limits, and both the thickness tP1 of the 1st fixed magnetic layer 12 and the thickness tP2 of the 2nd fixed magnetic layer 14 are within the limits of 10-50Å, and, as for the absolute value which moreover lengthened the thickness tP2 of the 2nd fixed magnetic layer 14 from the thickness tP1 of the 1st fixed magnetic layer 12, it is desirable [the thickness] that it is 2Å or more. It is [above-mentioned.] within the limits, and if the thickness tP1 of the thickness ratio of the 1st fixed magnetic layer 12 and the 2nd fixed magnetic layer 14 and the 1st fixed magnetic layer 12 and the thickness tP2 of the 2nd fixed magnetic layer 14 are adjusted proper, it is possible to acquire the switched connection field more than at least 1000 (Oe). Moreover, if it is the thickness ratio and thickness of above-mentioned within the limits, while a switched connection field (Hex) can be enlarged, ΔMR (resistance rate of change) can also be made [the former and] high to the same extent. It is possible for it to be stabilized and to maintain magnetization of the 1st fixed magnetic layer 12 and magnetization of the 2nd fixed magnetic layer 14 at an anti-parallel condition, so that a switched connection field is large. By using the PtMn alloy which blocking temperature is especially high as an antiferromagnetism layer 11 in this invention, and is moreover made to generate a large switched connection field (exchange anisotropy field) in an interface with the 1st fixed magnetic layer 12 Also thermally it is stabilized and the magnetization condition of said 1st fixed magnetic layer 12 and the 2nd fixed magnetic layer 14 can be maintained.

[0048] By the way, the 1st fixed magnetic layer 12 and the 2nd fixed magnetic layer 14 are

formed with the same quality of the material, and, moreover, it is checked by experiment that a switched connection field (H_{ex}) and ΔMR fall extremely that the thickness of said 1st fixed magnetic layer 12 and the 2nd fixed magnetic layer 14 is the same value. This M_s-tP1 (magnetic moment) of the 1st fixed magnetic layer 12, When M_s-tP2 (magnetic moment) of the 2nd fixed magnetic layer 14 is the same value, When magnetization of said 1st fixed magnetic layer 12 and magnetization of the 2nd fixed magnetic layer 14 will not be in an anti-parallel condition but the direction variance (the amount of magnetic moments which is suitable in the various directions) of said magnetization increases, it is because whenever [with magnetization of the free magnetic layer 16 mentioned later / angular relation] is uncontrollable proper.

[0049] In order to solve such a problem, when making [12] M_s-t of the 1st fixed magnetic layer 12 and the 2nd fixed magnetic layer 14 into a different value, i.e., the 1st fixed magnetic layer, and the 2nd fixed magnetic layer 14 are formed in the 1st with the same quality of the material, it is necessary to form said 1st fixed magnetic layer 12 and the 2nd fixed magnetic layer 14 by different thickness. In this invention, as mentioned above, the thickness ratio of the 1st fixed magnetic layer 12 and the 2nd fixed magnetic layer 14 is rationalized, but in the thickness ratio, when the thickness $tP1$ of said 1st fixed magnetic layer 12 and the thickness $tP2$ of the 2nd fixed magnetic layer 14 become the almost same value, specifically, the thickness ratio of 0.95–1.05 within the limits is excepted from the proper range.

[0050] Like this invention next, by giving a PtMn alloy etc. to the antiferromagnetism layer 11 and giving annealing in a magnetic field (heat treatment) after membrane formation When the antiferromagnetism ingredient made to generate a switched connection field (exchange anisotropy field) in an interface with the 1st fixed magnetic layer 12 is used Even if it sets M_s-t of the 1st fixed magnetic layer 12 and the 2nd fixed magnetic layer 14 as a different value Unless it controls the direction of the impression magnetic field under heat treatment, and its magnitude proper, direction variance cannot increase or it cannot control proper in the direction which wants to turn said magnetization to magnetization of the 1st fixed magnetic layer 12, and magnetization of the 2nd fixed magnetic layer 14.

[0051]

[Table 1]

表 1

第1の固定磁性層 $M_s \cdot tP1 >$ 第2の固定磁性層 $M_s \cdot tP2$

熱処理中の 磁界方向	(1) 左に 100~1kOe	(2) 右に 100~1kOe	(3) 右に 5kOe 以上	(4) 左に 5kOe 以上
第1の固定 磁性層の方向	←	→	→	←
第2の固定 磁性層の方向	→	←	→	←

In Table 1, when M_s-tP1 of the 1st fixed magnetic layer 12 is larger than M_s-tP2 of the 2nd fixed magnetic layer and it changes the magnitude of the magnetic field under heat treatment, and its direction, it means in which direction magnetization of the 1st fixed magnetic layer 12 and the 2nd fixed magnetic layer 14 is suitable.

[0052] $k [100- / 1]$ (Oe) In (1) of Table 1, the direction of the magnetic field under heat treatment is given to illustration left-hand side. In this case, since M_s-tP1 of the 1st fixed magnetic layer 12 is larger than M_s-tP2 of the 2nd fixed magnetic layer 14, magnetization of the 1st dominant fixed magnetic layer 12 tends to learn in the direction of an impression magnetic field, and magnetization of the 2nd fixed magnetic layer 14 tends to be in an anti-parallel condition toward the illustration left by the switched connection field (RKKY interaction) with the 1st fixed magnetic layer 12. In (2) of Table 1, if the magnetic field of 100–1k (Oe) is impressed rightward, magnetization of the 1st dominant fixed magnetic layer 12 will learn in the direction of an impression magnetic field, and magnetization of the 2nd fixed magnetic layer 14 will become anti-parallel to magnetization of the 1st fixed magnetic layer 12 toward the right. In (3) of Table 1, if the magnetic field more than 5k (Oe) is given rightward, first, magnetization of the 1st dominant fixed magnetic layer 12 will be learned in the direction of an impression magnetic field, and will be suitable rightward. By the way, since the switched connection field (RKKY interaction)








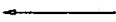
generated between the 1st fixed magnetic layer 12 and the 2nd fixed magnetic layer 14 is $1k(\text{Oe})$ $k[-5]$ (Oe) extent, if the magnetic field more than $5k$ (Oe) is impressed, the 2nd fixed magnetic layer 14 will also turn to the direction of an impression magnetic field, i.e., the illustration right. Similarly, in (4) of Table 1, if the magnetic field more than $5k$ (Oe) is impressed leftward, both magnetization of the 1st fixed magnetic layer 12 and the 2nd fixed magnetic layer 14 will be suitable leftward [illustration].

[0053]

[Table 2]

表 2

第1の固定磁性層 $M_s \cdot tP1 <$ 第2の固定磁性層 $M_s \cdot tP2$

熱処理中の 磁界方向	(1) 左に $100 \sim 1k\text{Oe}$	(2) 右に $100 \sim 1k\text{Oe}$	(3) 右に $5k\text{Oe}$ 以上	(4) 左に $5k\text{Oe}$ 以上
第1の固定 磁性層の方向				
第2の固定 磁性層の方向				

In Table 2, when $M_s \cdot tP2$ of the 2nd fixed magnetic layer also has small $M_s \cdot tP1$ of the 1st fixed magnetic layer 12 and it changes the magnitude of the impression magnetic field under heat treatment, and its direction, it means in which direction magnetization of the 1st fixed magnetic layer 12 and the 2nd fixed magnetic layer 14 is suitable.

[0054] In (1) of Table 2, if the magnetic field of $100 \sim 1k$ (Oe) is given leftward [illustration], magnetization of the 2nd large fixed magnetic layer 14 of $M_s \cdot tP2$ becomes dominant, and magnetization of said 2nd fixed magnetic layer 14 will learn in the direction of an impression magnetic field, and will be suitable leftward [illustration]. By the switched connection between the 1st fixed magnetic layer 12 and the 2nd fixed magnetic layer 14 (RKKY interaction), magnetization of said 1st fixed magnetic layer 12 becomes anti-parallel to magnetization of said 2nd fixed magnetic layer 14. Similarly, if the magnetic field of $100 \sim 1k$ (Oe) is given rightward [illustration], magnetization of the 2nd dominant fixed magnetic layer 14 will be suitable [as for magnetization of the 1st fixed magnetic layer 12] in (2) of Table 2, leftward [illustration] toward the illustration right. In (3) of Table 2, if the magnetic field more than $5k$ (Oe) is given rightward [illustration], both magnetization of said 1st fixed magnetic layer 12 and the 2nd fixed magnetic layer 14 will be suitable rightward [illustration] by impressing the magnetic field beyond the switched connection between the 1st fixed magnetic layer 12 and the 2nd fixed magnetic layer 14 (RKKY interaction). In (4) of Table 2, if the magnetic field more than $5k$ (Oe) is impressed leftward [illustration], both magnetization of the 1st fixed magnetic layer 12 and the 2nd fixed magnetic layer 14 will turn to the illustration left.

[0055] Here, when it is going to turn magnetization of the 1st fixed magnetic layer 12 rightward [illustration], the direction of a magnetic field under proper heat treatment and its magnitude are (2) and (3) in Table 1, and (1) and (3) in Table 2. In both Table 1 (2) and (3), magnetization of said 1st fixed magnetic layer 12 is fixed rightward toward the right by the switched connection field (exchange anisotropy field) in an interface with the antiferromagnetism layer 11 generated by heat treatment in response to the effect of the impression magnetic field of the right [magnetization / of the 1st large fixed magnetic layer 12 of $M_s \cdot tP1$] under heat treatment at this time. If the magnetic field more than $5k$ (Oe) is removed, the 2nd fixed magnetic layer 14 will reverse magnetization of said 2nd fixed magnetic layer 14 by the switched connection field (RKKY interaction) generated between the 1st fixed magnetic layer 12, and it will be suitable leftward in Table 1 (3). By Table 2 (1) and (3), magnetization of the 1st fixed magnetic layer 12 turned rightward is similarly fixed rightward by the switched connection field (exchange anisotropy field) in an interface with the antiferromagnetism layer 11. In Table 2 (3), when the magnetic field more than $5k$ (Oe) is removed, the 2nd fixed magnetic layer 14 reverses magnetization of said 2nd fixed magnetic layer 14 by the switched connection field (RKKY interaction) generated between the 1st fixed magnetic layer 12, and it is fixed leftward.

[0056] By the way, as shown in Table 1 and 2, the magnitude of the magnetic field impressed during heat treatment is $100 \sim 1k$ (Oe), or more than $5k$ (Oe), and has removed the magnitude of

the magnetic field of the range of 1k (Oe) – 5k (Oe) from the proper range. This is based on the following reasons. By giving a magnetic field, magnetization of the large fixed magnetic layer of M_s - t is taken as the other side in the direction of a magnetic field. However, even magnetization of the small fixed magnetic layer of M_s - t considers as the other side in the direction of a magnetic field for the magnitude of the magnetic field under heat treatment to be between 1k (Oe) – 5k (Oe), strongly in response to the fact that the effect of a magnetic field. Magnetization of the two-layer fixed magnetic layer which is going to become anti-parallel does not become anti-parallel in response to the effect of a strong magnetic field, but the so-called magnetization variance which magnetization of said fixed magnetic layer makes the other side in the various directions increases, and it becomes impossible for this reason, to magnetize magnetization of a two-layer fixed magnetic layer in the anti-parallel condition proper by the switched connection field (RKKY interaction) generated between fixed magnetic layers. Therefore, in this invention, the magnitude of the magnetic field of 1k (Oe) – 5k (Oe) is removed from the proper range. In addition, it is because magnetization of the large fixed magnetic layer of M_s - t cannot be turned in the direction of an impression magnetic field unless having carried out magnitude of the magnetic field under heat treatment to more than 100 (Oe) gives a magnetic field of this level. In addition, if it is the case where the antiferromagnetism layer 11 which needs heat treatment is used, the magnitude of the magnetic field under heat treatment mentioned above and the control approach of the direction can be applied even when the NiMn alloy which can apply even if it is the case where what kind of antiferromagnetism ingredient is used, for example, is used as an antiferromagnetism layer 11 from the former is used.

[0057] As mentioned above, by storing the thickness ratio of the 1st fixed magnetic layer 12 and the 2nd fixed magnetic layer 14 within proper limits in this invention, a switched connection field (Hex) can be enlarged, magnetization of the 1st fixed magnetic layer 12 and the 2nd fixed magnetic layer 14 can be maintained at the anti-parallel condition (ferry condition) stabilized also thermally, and it is possible to secure ΔMR (resistance rate of change) to the same extent as the former moreover. By furthermore controlling the magnitude of the magnetic field under heat treatment, and its direction proper, it becomes possible to control the magnetization direction of the 1st fixed magnetic layer 12 and the 2nd fixed magnetic layer 14 in the direction to acquire.

[0058] by the way — as mentioned above, the magnetic moment (magnetic thickness) can be searched for by the product of saturation magnetization M_s and Thickness t , for example, it is NiFe of a bulk solid-state — saturation magnetization M_s — about 1.0 — it is T (tesla) and is Co of a bulk solid-state — saturation magnetization M_s — about 1.7 — it is known that it is T. Therefore, when the thickness of said NiFe film is 30Å, the magnetic thickness of said NiFe film serves as a 30Å tesla. Since the magnetostatic energy of the ferromagnetic when adding a field from the exterior is proportional to crossing with magnetic thickness and an external magnetic field, when the large ferromagnetic of magnetic thickness and the small ferromagnetic of magnetic thickness are in the ferry condition by the RKKY interaction through the nonmagnetic interlayer, a ferromagnetic with larger magnetic thickness becomes easy to turn to the direction of an external magnetic field.

[0059] However, the case of the ferromagnetic which carried out laminating contact with nonmagnetic membranes, such as a tantalum (Ta), and a ruthenium (Ru), copper (Cu), Since a nonmagnetic membrane atom, an antiferromagnetism film atom, and a ferromagnetic atom (nickel, Fe, Co) come into contact with directly in the case of the ferromagnetic which carried out laminating contact with antiferromagnetism layers, such as PtMn film, It is known that the saturation magnetization M_s of the ferromagnetic near an interface with a nonmagnetic membrane or the antiferromagnetism film will become smaller than the saturation magnetization M_s of a bulk solid-state. Furthermore, if heat treatment is performed to a ferromagnetic, a nonmagnetic membrane, and the laminating multilayers of an antiferromagnetism layer, it is known that interface diffusion will advance and distribution of the direction of thickness will arise in the saturation magnetization M_s of a ferromagnetic by said heat treatment. That is, saturation magnetization M_s is the phenomenon of approaching the saturation magnetization M_s of a bulk solid-state as the saturation magnetization M_s of the location near a nonmagnetic membrane or an antiferromagnetism layer is small and it separates from an interface with a nonmagnetic membrane or the antiferromagnetism film.

[0060] In order to be dependent on the ingredient of a nonmagnetic membrane, the ingredient of an antiferromagnetism layer, the ingredient of a ferromagnetic, built-up sequence, heat treatment temperature, etc., in each specified condition, it must ask for reduction of the saturation magnetization M_s of a nonmagnetic membrane or the ferromagnetic of the location near an antiferromagnetism layer correctly. The magnetic thickness in this invention is the value which also took into consideration and computed the decrement of the saturation magnetization M_s produced by thermal diffusion with a nonmagnetic membrane or an antiferromagnetism layer.

[0061] Although it is required to form a diffusion layer by the interface of the PtMn film and a ferromagnetic by heat treatment in order to acquire a switched connection field by the interface of the PtMn film and a ferromagnetic, reduction of the saturation magnetization M_s of the ferromagnetic accompanying formation of a diffusion layer will be dependent on the built-up sequence of the PtMn film and a ferromagnetic.

[0062] If it is when the antiferromagnetism layer 11 is formed below the free magnetic layer 16 as shown especially in drawing 1, it is easy to generate a thermal diffusion layer in the interface of said antiferromagnetism layer 11 and the 1st fixed magnetic layer 12, and, for this reason, the magnetic thickness of said 1st fixed magnetic layer 12 is small compared with the actual thickness t_{P1} . However, when the magnetic thickness of said 1st fixed magnetic layer 12 becomes small too much, a magnetic thickness (magnetic moment) difference with the 2nd fixed magnetic layer 14 becomes large too much, and when the rate of the thermal diffusion layer occupied to said 1st fixed magnetic layer 12 increases, there is a problem of leading to the fall of a switched connection field. Namely, the antiferromagnetism layer 11 which needs heat treatment like this invention since a switched connection field is generated in an interface with the 1st fixed magnetic layer 12 is used. In order to change the magnetization condition of the 1st fixed magnetic layer 12 and the 2nd fixed magnetic layer 14 into a ferry condition Unless it rationalizes not only rationalization of the thickness of said 1st fixed magnetic layer 12 and the 2nd fixed magnetic layer 14 but said magnetic thickness of the 1st fixed magnetic layer 12 and the 2nd fixed magnetic layer 14, the stable magnetization condition cannot be maintained.

[0063] If there is no difference in the magnetic thickness of the 1st fixed magnetic layer 12 and the 2nd fixed magnetic layer 14 to some extent as mentioned above, a magnetization condition leads to the fall of a switched connection field and is not desirable, even if it will be hard to be in a ferry condition and the difference of the magnetic thickness of the 1st fixed magnetic layer 12 and the 2nd fixed magnetic layer 14 becomes large too much. So, as for (magnetic thickness of 1st fixed magnetic layer 12)/(magnetic thickness of the 2nd fixed magnetic layer 14), in this invention, it is desirable like the thickness ratio of the 1st fixed magnetic layer 12 and the 2nd fixed magnetic layer 14 that it is within the limits of 0.33 to 0.95, or 1.05–4. moreover — this invention — the magnetic thickness of the 1st fixed magnetic layer 12, and the magnetic thickness of the 2nd fixed magnetic layer 14 — within the limits of 10–70 (angstrom tesla) — and it is desirable that the absolute value which lengthened the magnetic thickness of the 2nd fixed magnetic layer 14 from the magnetic thickness of the 1st fixed magnetic layer 12 is more than two (angstrom tesla).

[0064] Moreover (magnetic thickness of the 1st fixed magnetic layer 12), it is more desirable that / (magnetic thickness of the 2nd fixed magnetic layer 14) is within the limits of 0.53 to 0.95, or 1.05–1.8. Moreover, it is [above-mentioned] within the limits, and both the magnetic thickness of the 1st fixed magnetic layer 12 and the magnetic thickness of the 2nd fixed magnetic layer 14 are within the limits of 10–50 (angstrom tesla), and, as for the absolute value which moreover lengthened the magnetic thickness of the 2nd fixed magnetic layer 14 from the magnetic thickness of the 1st fixed magnetic layer 12, it is desirable that it is more than two (angstrom tesla).

[0065] Next, the nonmagnetic interlayer 13 who intervenes between the 1st fixed magnetic layer 12 and the 2nd fixed magnetic layer 14 which are shown in drawing 1 is explained. As for the nonmagnetic interlayer 13 who intervenes in this invention between the 1st fixed magnetic layer 12 and the 2nd fixed magnetic layer 14, it is desirable to be formed with one sort or two sorts or more of alloys among Ru, Rh, Ir, Cr, Re, and Cu. By this invention, said proper nonmagnetic interlayer's 13 thickness value is changed by whether it is formed below the free magnetic layer 16 which the antiferromagnetism layer 11 mentions later, or it is formed in the bottom.

[0066] As for the thickness of said nonmagnetic interlayer 13 as shown in drawing 1, in case the antiferromagnetism layer 11 is formed below the free magnetic layer 16, it is desirable to be formed within the limits of 3.6–9.6Å. If it is this within the limits, it is possible to acquire the switched connection field (Hex) more than 500 (Oe). Moreover, if said nonmagnetic interlayer's 13 thickness is formed within the limits of 4–9.4Å, since it can acquire the switched connection field more than 1000 (Oe), it is more desirable. If formed with dimensions other than the dimension which the nonmagnetic interlayer's 13 thickness mentioned above, it is checked by experiment that a switched connection field falls extremely. That is, when said nonmagnetic interlayer 13 is formed of dimensions other than the above-mentioned dimension, magnetization with said 1st fixed magnetic layer 12 and the 2nd fixed magnetic layer 14 stops it to be able to be easily in an anti-parallel condition (ferry condition), and there is a problem that said magnetization condition destabilizes.

[0067] As shown in drawing 1, on the 2nd fixed magnetic layer 14, the nonmagnetic conductive layer 15 formed by Cu etc. is formed, and the free magnetic layer 16 is further formed on said nonmagnetic conductive layer 15. As shown in drawing 1, the free magnetic layer 16 is formed by two-layer, and the layer of the sign 17 formed in the side which touches said nonmagnetic conductive layer 15 is formed by Co film. Moreover, another layer 18 is formed with the NiFe alloy, a CoFe alloy or a CoNiFe alloy, etc. In addition, the reason for forming the layer 17 of Co film in the side which touches the nonmagnetic conductive layer 15 is that diffusion of the metallic element in an interface with said nonmagnetic conductive layer 15 formed by Cu etc. can be prevented, and it can enlarge deltaMR (resistance rate of change). In addition, a sign 19 is the protective layer formed by Ta etc. Moreover, as shown in drawing 2, the conductive layer 131 formed by the hard bias layer 130 formed with the Co-Pt alloy, the Co-Cr-Pt alloy, etc., and Cu and Cr is formed in the both sides of the layered product from the substrate layer 10 to a protective layer 19, and magnetization of said free magnetic layer 16 is in the condition of having been magnetized in the direction of illustration X, in response to the effect of the bias field of said hard bias layer.

[0068] In the spin bulb mold thin film in drawing 1, a sense current is given to the free magnetic layer 16, the nonmagnetic conductive layer 15, and the 2nd fixed magnetic layer 14 from said conductive layer. If a field is given in the direction of illustration Y shown in drawing 1 from a record medium, when magnetization of the free magnetic layer 16 is changed in the direction of Y from illustration X and dispersion of the conduction electron for which it depended on spin by the interface of the nonmagnetic conductive layer 15 at this time and the free magnetic layer 16 and the interface of the nonmagnetic conductive layer 15 and the 2nd fixed magnetic layer 14 takes place, electric resistance will change and the leak field from a record medium will be detected.

[0069] By the way, said sense current flows to the interface of the 1st fixed magnetic layer 12 and the nonmagnetic interlayer 13 etc. in fact. Said 1st fixed magnetic layer 12 does not participate in deltaMR directly, but said 1st fixed magnetic layer 12 is the layer which, so to speak, bore the auxiliary role for fixing the 2nd fixed magnetic layer 14 which participates in deltaMR in the proper direction. For this reason, although it becomes a shunt loss (current loss) that a sense current flows to the 1st fixed magnetic layer 12 and nonmagnetic interlayer 13, there are very few amounts of this shunt loss, and it is possible to obtain deltaMR almost comparable as the former in this invention.

[0070] By the way, in this invention, even if it made thickness of the antiferromagnetism layer 11 thin by dividing a fixed magnetic layer through the nonmagnetic interlayer 13 to two-layer [of the 1st fixed magnetic layer 12 and the 2nd fixed magnetic layer 14], the experiment showed a big switched connection field (Hex) and that the switched connection field more than 500 (Oe) could specifically be acquired.

[0071] If thickness at least 200Å or more is not secured and said antiferromagnetism layer 11 is formed by at least 90Å or more by this invention although the switched connection field more than 500 (Oe) was not able to be acquired when a PtMn alloy is conventionally used as an antiferromagnetism layer 11 of a single spin bulb mold thin film, it is possible to acquire the switched connection field more than 500 (Oe). Moreover, if said thickness is made into 100Å or more, it is possible to acquire the switched connection field more than 1000 (Oe). In addition, the

numerical range of the thickness of said antiferromagnetism layer 11 is the case of a single spin bulb mold thin film, and the thickness range where an antiferromagnetism layer is proper a little in the case of the so-called dual spin bulb mold thin film in which a free magnetic layer is formed up and down differs. About the case of a dual spin bulb mold thin film, it mentions later. Thus, according to this invention, it is possible to make thin thickness of the whole spin bulb mold thin film by the ability of the antiferromagnetism layer 11 which had the biggest thickness in a spin bulb mold thin film to be formed by the thickness below one half compared with the former.

[0072] Drawing 13 is the sectional view in which the spin bulb mold thin film was formed and which read and looked at the structure of a head from the opposed face side with a record medium. A sign 120 is the lower shielding layer formed for example, with the NiFe alloy etc., and the lower gap layer 121 is formed on this lower shielding layer 120. Moreover, the spin bulb mold thin film 122 in this invention is formed, and the hard bias layer 123 and the conductive layer 124 are formed in the both sides of said spin bulb mold thin film 122 by said lower gap layer 121 top. Furthermore, the up gap layer 125 is formed on said conductive layer 124, and the up shielding layer 126 formed with the NiFe alloy etc. is formed on said up gap layer 125. Said lower gap layer 123 and the up gap layer 125 are formed of insulating materials, such as SiO₂ and aluminum 2O₃ (alumina). As shown in drawing 13, the die length from the lower gap layer 121 to the up gap layer 125 is gap length G1, and it can respond to high recording density-ization, so that this gap length G1 is small.

[0073] Since thickness of the spin bulb mold thin-film 122 whole can be made thin by the ability of thickness of the antiferromagnetism layer 11 to be made thin as mentioned above in this invention, it is possible to shorten said gap length G1. Moreover, even if it makes comparatively thick thickness of the lower gap layer 121 and the up gap layer 125, insulation is fully securable by being able to make gap length G1 small compared with the former, and forming thickly the lower gap layer 121 and the up gap layer 125.

[0074] First, from the bottom, the spin bulb mold thin film shown in drawing 1 forms the substrate layer 10, the antiferromagnetism layer 11, the 1st fixed magnetic layer 12, the nonmagnetic interlayer 13, the 2nd fixed magnetic layer 14, the nonmagnetic conductive layer 15, the free magnetic layer 16, and a protective layer 19, and gives annealing in a magnetic field (heat treatment) in the process after membrane formation. In the spin bulb mold thin film shown in drawing 1, the thickness tP1 of the 1st fixed magnetic layer 12 is thinly formed compared with the thickness tP2 of the 2nd fixed magnetic layer 14, and the direction of the magnetic moment (M_s -tP1) of the 1st fixed magnetic layer 12 is small set up compared with the magnetic moment (M_s -tP2) of the 2nd fixed magnetic layer 14. In this case, the magnetic field more than 5k (Oe) is impressed in the direction which wants to impress [direction] the magnetic field of 100-1000 (Oe) in the direction contrary to a direction to turn magnetization of said 1st fixed magnetic layer 14 to, or to turn magnetization to it.

[0075] By referring to Table 2 mentioned above shows that what is necessary is to impress the magnetic field of 100-1k (Oe), and (table 2(1) reference) in the direction contrary to the direction of illustration Y, or just to impress the magnetic field more than 5k (Oe) in the direction (to refer to Table 2 (3)) of Y to fix magnetization of the 1st fixed magnetic layer 12 in the direction of illustration Y, as shown in drawing 1. By giving the magnetic field of 100-1k (Oe) in the direction contrary to the direction of Y, it is magnetized in the direction where magnetization of the 2nd fixed magnetic layer 14 with the large magnetic moment (M_s -tP2) is contrary to the direction of Y. Magnetization of the 1st fixed magnetic layer 12 which is going to be magnetized by anti-parallel by the switched connection field (RKKY interaction) with said 2nd fixed magnetic layer is suitable in the direction of illustration Y. Magnetization of said 1st fixed magnetic layer 12 is fixed in the direction of illustration Y by the switched connection field (exchange anisotropy field) generated in an interface with said antiferromagnetism layer 11. By fixing magnetization of the 1st fixed magnetic layer 12 in the direction of illustration Y, magnetization of the 2nd fixed magnetic layer 14 is fixed to the 1st magnetization and anti-parallel of the fixed magnetic layer 12.

[0076] Or when the magnetic field more than 5k (Oe) is given in the direction of illustration Y, both magnetization of the 1st fixed magnetic layer 12 and the 2nd fixed magnetic layer 14 is magnetized in the direction of illustration Y, and magnetization of the 1st fixed magnetic layer 12

is fixed in the direction of illustration Y by the switched connection field (exchange anisotropy field) generated in an interface with the antiferromagnetism layer 11. When the impression magnetic field more than 5k (Oe) is removed, it is reversed with a switched connection field (RKKY interaction) with the 1st fixed magnetic layer 12, and magnetization of the 2nd fixed magnetic layer 14 is fixed to the direction of illustration Y, and an opposite direction. Or when the magnetic moment of the 1st fixed magnetic layer 12 is larger than the magnetic moment of the 2nd fixed magnetic layer 14, it impresses the magnetic field more than 100-1000 (Oe), or 5k (Oe) in the direction to turn magnetization of said 1st fixed magnetic layer 12 to.

[0077] In addition, the spin bulb mold thin film shown in drawing 1 is most important part that constitutes the head for playback (thin film magnetic head), and first, after it forms a gap layer on the lower shielding layer made from a magnetic material, it forms said spin bulb mold thin film. Then, if an up shielding layer is formed through a gap layer on said spin bulb mold thin film, the head for playback (MR head) will be completed. In addition, the laminating of the inductive head for record which has the core and coil made from a magnetic material on said head for playback may be carried out. In this case, it is desirable to make said up shielding layer serve a double purpose as a lower core layer of an inductive head. In addition, the shielding layer is formed in the upper and lower sides like the spin bulb mold thin film which shows the spin bulb mold thin film after drawing 3 to drawing 1.

[0078] The cross-sectional view in which drawing 3 showed the structure of the spin bulb mold thin film of the 2nd operation gestalt of this invention in mimetic diagram, and drawing 4 are the sectional views which looked at the spin bulb mold thin film shown in drawing 3 from the opposed face side with a record medium. This spin bulb mold thin film is a single spin bulb mold thin film which made reverse the film configuration of the spin bulb mold thin film of drawing 1, and formed it. That is, by the spin bulb mold thin film shown in drawing 3, the laminating is carried out from the bottom in the order of the substrate layer 10, the NiFe film 22, the Co film 23 (the NiFe film 22 and the Co film 23 are set, and it is the free magnetic layer 21), the nonmagnetic conductive layer 24, the 2nd fixed magnetic layer 25, the nonmagnetic interlayer 26, the 1st fixed magnetic layer 27, the antiferromagnetism layer 28, and a protective layer 29.

[0079] In addition, being formed with the PtMn alloy is desirable, or it replaces with a PtMn alloy, and said antiferromagnetism layer 28 is X-Mn (however, X). It may be formed with the alloy which are any one sort or two sorts or more of elements of Pd, Ir, Rh, and Ru, or the Pt-Mn-X' (however, X' is one-sort [any] or two sorts or more of elements of Pd, Ir, Rh, Ru, Au, and Ag) alloy.

[0080] Also in this spin bulb mold thin film, as for (thickness tP1 of 1st fixed magnetic layer)/(thickness tP2 of the 2nd fixed magnetic layer), it is desirable that it is within the limits of 0.33 to 0.95, or 1.05-4, and the thickness ratio tP 2 of the thickness tP1 of said 1st fixed magnetic layer 27 and the 2nd fixed magnetic layer 25 is within the limits of 0.53 to 0.95, or 1.05-1.8 more preferably. And it is desirable that it is within the limits the thickness tP1 of the 1st fixed magnetic layer 27 and whose thickness tP2 of the 2nd fixed magnetic layer 25 are 10-70Å, and the absolute value which lengthened the thickness tP2 of the 2nd fixed magnetic layer 25 from the thickness tP1 of the 1st fixed magnetic layer 27 is 2Å or more. It is within the limits the thickness tP1 of the 1st fixed magnetic layer 27 and whose thickness tP2 of the 2nd fixed magnetic layer 25 are 10-50Å still more preferably, and the absolute value which lengthened the thickness tP2 of the 2nd fixed magnetic layer 25 from the thickness tP1 of the 1st fixed magnetic layer 27 is 2Å or more.

[0081] If there is no difference in the magnetic thickness of the 1st fixed magnetic layer 27 and the 2nd fixed magnetic layer 25 to some extent as mentioned above, a magnetization condition leads to the fall of a switched connection field and is not desirable, even if it will be hard to be in a ferry condition and the difference of the magnetic thickness of the 1st fixed magnetic layer 27 and the 2nd fixed magnetic layer 25 becomes large too much. So, as for (magnetic thickness Ms-tP1 of 1st fixed magnetic layer 27)/(magnetic thickness Ms-tP2 of the 2nd fixed magnetic layer 25), in this invention, it is desirable like the thickness ratio of the 1st fixed magnetic layer 27 and the 2nd fixed magnetic layer 25 that it is with within the limits of 0.33 to 0.95, or 1.05-4. moreover -- this invention -- magnetic thickness Ms-tP1 of the 1st fixed magnetic layer 27, and magnetic thickness Ms-tP2 of the 2nd fixed magnetic layer 25 -- within the limits of 10-70

(angstrom tesla) — and it is desirable that the absolute value which lengthened magnetic thickness M_s - t_{P2} of the 2nd fixed magnetic layer 25 from magnetic thickness M_s - t_{P1} of the 1st fixed magnetic layer 27 is more than two (angstrom tesla).

[0082] Moreover (magnetic thickness M_s - t_{P1} of the 1st fixed magnetic layer 27), it is more desirable that / (magnetic thickness M_s - t_{P2} of the 2nd fixed magnetic layer 25) is within the limits of 0.53 to 0.95, or 1.05–1.8. Moreover, it is [above-mentioned] within the limits, and both magnetic thickness M_s - t_{P1} of the 1st fixed magnetic layer 27 and magnetic thickness M_s - t_{P2} of the 2nd fixed magnetic layer 25 are within the limits of 10–50 (angstrom tesla), and, as for the absolute value which moreover lengthened magnetic thickness M_s - t_{P2} of the 2nd fixed magnetic layer 25 from magnetic thickness M_s - t_{P1} of the 1st fixed magnetic layer 27, it is desirable [M_s - t_P] that it is more than two (angstrom tesla).

[0083] Next, as for the nonmagnetic interlayer 26 who intervenes between the 1st fixed magnetic layer 27 and the 2nd fixed magnetic layer 25 which are shown in drawing 3, it is desirable to be formed with one sort or two sorts or more of alloys among Ru, Rh, Ir, Cr, Re, and Cu. As this invention shows to drawing 3, when the antiferromagnetism layer 28 is formed above the free magnetic layer 21, as for said nonmagnetic interlayer's 26 thickness, it is desirable that it is within the limits of 2.5–6.4Å or 6.6–10.7Å. The switched connection field (H_{ex}) more than at least 500 (Oe) can be acquired as it is this within the limits.

[0084] Moreover, as for said nonmagnetic interlayer's 26 thickness, in this invention, it is more desirable that it is within the limits of 2.8–6.2Å or 6.8–10.3Å. It is possible to acquire the switched connection field more than at least 1000 (Oe) as it is this within the limits. Moreover, if said antiferromagnetism layer 28 is formed by at least 90Å or more, it is possible to acquire the switched connection field more than 500 (Oe). Moreover, if said thickness is made into 100Å or more, it is possible to acquire the switched connection field more than 1000 (Oe).

[0085] In the spin bulb mold thin film shown in drawing 3, the thickness t_{P1} of the 1st fixed magnetic layer 27 is formed with a different value from the thickness t_{P2} of the 2nd fixed magnetic layer 25, for example, the direction of the thickness t_{P1} of said 1st fixed magnetic layer 27 is formed more thickly than the thickness t_{P2} of the 2nd fixed magnetic layer 25. Moreover, magnetization of said 1st fixed magnetic layer 27 is magnetized in the direction of illustration Y, magnetization of said 2nd fixed magnetic layer 25 is magnetized in the direction contrary to the direction of illustration Y, and 1st fixed magnetic layer 27 and fixed magnetic layer of ** 2nd 25 magnetization is in the ferry condition. The control approach of the magnetization direction of the 1st fixed magnetic layer 27 and the 2nd fixed magnetic layer 25 shown in drawing 3 is explained below.

[0086] Each class first shown in drawing 3 is formed by a spatter etc., and annealing in a magnetic field (heat treatment) is given in the process after membrane formation. When M_s - t_{P1} (magnetic moment) of the 1st fixed magnetic layer 27 is larger than M_s - t_{P2} (magnetic moment) of the 2nd fixed magnetic layer 25, it should just impress the magnetic field of 100–1000 (Oe), or 5k (Oe) in the direction to turn magnetization of said 1st fixed magnetic layer 27 to. If it is going to turn the 1st large fixed magnetic layer 27 of M_s - t_{P1} in the direction of illustration Y as shown in drawing 3, while heat-treating the magnetic field more than 5k (Oe) (refer to Table 1 (3)) in the direction of 100–k [1] (Oe), (table 1(2) reference), or illustration Y, it will impress in the direction of illustration Y by referring to Table 1 mentioned above.

[0087] In magnetization of the 1st large fixed magnetic layer 27 of M_s - t_{P1} , by giving the magnetic field of 100–1k (Oe) in the direction of illustration Y, magnetization of the 2nd fixed magnetic layer 25 tends to be in an anti-parallel condition toward the direction of illustration Y. And the switched connection field (exchange anisotropy field) generated in the interface of said 1st fixed magnetic layer 27 and antiferromagnetism layer 28 is fixed in the direction of illustration Y, and, thereby, magnetization of said 1st fixed magnetic layer 27 is fixed in the direction where magnetization of the 2nd fixed magnetic layer 25 is opposite to the direction of illustration Y.

[0088] Or by impressing a magnetic field bigger when the magnetic field more than 5k (Oe) is given in the direction of illustration Y than the switched connection field (RKKY interaction) generated between the 1st fixed magnetic layer 27 and the 2nd fixed magnetic layer 25 Both magnetization of the 1st fixed magnetic layer 27 and the 2nd fixed magnetic layer 25 is magnetized in the direction of illustration Y, and magnetization of said 1st fixed magnetic layer

27 is fixed in the direction of illustration Y by the switched connection field (exchange anisotropy field) generated in an interface with the antiferromagnetism layer 28. On the other hand, by removing an impression magnetic field, it is reversed with a switched connection field (RKKY interaction) with the 1st fixed magnetic layer 27, and magnetization of the 2nd fixed magnetic layer 25 will be in magnetization of said 1st fixed magnetic layer 27, and an anti-parallel condition, and will be fixed.

[0089] Or when the magnetic moment of the 1st fixed magnetic layer 27 is smaller than the magnetic moment of the 2nd fixed magnetic layer 25, the magnetic field more than 5k (Oe) is impressed in the direction to impress the magnetic field of 100–1000 (Oe) in the direction contrary to a direction to turn magnetization of the 1st fixed magnetic layer 27 to, or turn magnetization to. In addition, as shown in drawing 4, the hard bias layer 130 and the conductive layer 131 are formed in the both sides of the layered product from the substrate layer 10 to a protective layer 29, and magnetization of the free magnetic layer 21 is arranged in the direction of illustration X by magnetizing said hard bias layer 130 in the direction of illustration X.

[0090] The cross-sectional view in which drawing 5 showed the structure of the spin bulb mold thin film of the 3rd operation gestalt of this invention in mimetic diagram, and drawing 6 are the sectional views which looked at the spin bulb mold thin film shown in drawing 5 from the opposed face side with a record medium. This spin bulb mold thin film is that so-called dual spin bulb mold thin film in which a nonmagnetic conductive layer, a fixed magnetic layer, and one layer of antiferromagnetism layers were formed at a time up and down focusing on a free magnetic layer. In this dual spin bulb mold thin film, since 2 sets of this combination of three layers of a free magnetic layer / nonmagnetic conductive layer / fixed magnetic layer exists, big Δ MR can be expected compared with a single spin bulb mold thin film, and it can respond to high density record-ization.

[0091] The spin bulb mold thin film shown in drawing 5 The substrate layer 30 from the bottom, the antiferromagnetism layer 31, the 1st fixed magnetic layer (below) 32, the nonmagnetic interlayer (below) 33, the 2nd fixed magnetic layer (below) 34, the nonmagnetic conductive layer 35, the free magnetic layer 36 (signs 37 and 39 are Co film and a sign 38 is the NiFe alloy film), The laminating is carried out in the order of the nonmagnetic conductive layer 40, the 2nd fixed magnetic layer (above) 41, the nonmagnetic interlayer (above) 42, the 1st fixed magnetic layer (above) 43, the antiferromagnetism layer 44, and a protective layer 45. In addition, as shown in drawing 6, the hard bias layer 130 and the conductive layer 131 are formed in the both sides of the layered product from the substrate layer 30 to a protective layer 45.

[0092] The antiferromagnetism layers 31 and 44 of the spin bulb mold thin film shown in drawing 5 Being formed with the PtMn alloy is desirable, or it replaces with a PtMn alloy, and is X-Mn (however, X). It may be formed with the alloy which are any one sort or two sorts or more of elements of Pd, Ir, Rh, and Ru, or the Pt-Mn-X' (however, X' is one-sort [any] or two sorts or more of elements of Pd, Ir, Rh, Ru, Au, and Ag) alloy.

[0093] Also in this spin bulb mold thin film The thickness tP1 of said 1st fixed magnetic layer (below) 32, Thickness ratio (thickness tP1 of 1st fixed magnetic layer)/(thickness tP2 of the 2nd fixed magnetic layer) of the thickness tP1 of a thickness ratio with the thickness tP2 of the 2nd fixed magnetic layer (below) 34 and the 1st fixed magnetic layer (above) 43 and the thickness tP2 of the 2nd fixed magnetic layer 41 (above) It is desirable that it is within the limits of 0.33 to 0.95, or 1.05–4. By furthermore, within the limits whose thickness ratio is [above-mentioned] within the limits and the thickness tP1 of the 1st fixed magnetic layer (below) 32 and 43 (above) and whose thickness tP2 of the 2nd fixed magnetic layer (below) 34 and 41 (above) are 10–70Å And it is possible to acquire the switched connection field more than 500 (Oe) from the thickness tP1 of the 1st fixed magnetic layer 32 and 43 as the absolute value which lengthened the thickness tP2 of the 2nd fixed magnetic layer 34 and 41 is 2Å or more.

[0094] In this invention, moreover, (thickness tP1 of 1st fixed magnetic layer)/(thickness tP2 of the 2nd fixed magnetic layer) It is more desirable that it is within the limits of 0.53 to 0.95, or 1.05–1.8. Further By within the limits the thickness tP1 of the 1st fixed magnetic layer (below) 32 and 43 (above) and whose thickness tP2 of the 2nd fixed magnetic layer (below) 34 and 41 (above) are 10–50Å And if the absolute value which lengthened the thickness tP2 of the 2nd fixed magnetic layer 34 and 41 from the thickness tP1 of the 1st fixed magnetic layer 32 and 43

is 2A or more, the switched connection field more than 1000 (Oe) can be acquired.

[0095] By the way, even if it makes larger than the thickness tP2 of the 2nd fixed magnetic layer (below) 34 thickness tP1 of the 1st fixed magnetic layer (below) 32 currently formed below the free magnetic layer 36 It is checked by experiment that it is in the inclination for a switched connection field to tend to fall that the thickness difference of the thickness tP1 of said 1st fixed magnetic layer (below) 32 and the 2nd fixed magnetic layer (below) 34 is about 6A or less. This phenomenon is seen when the antiferromagnetism layers 31 and 44 which need heat treatment and which were formed, for example with the PtMn alloy are used, in order to generate a switched connection field (exchange anisotropy field) in an interface with the 1st fixed magnetic layer (below) 32 and 43 (above).

[0096] The fall of a switched connection field is because the magnetic thickness of said 1st fixed magnetic layer (below) 32 decreases and the magnetic thickness of said 1st fixed magnetic layer (below) 32 and the thickness tP2 of the 2nd fixed magnetic layer 34 become the almost same thickness by the thermal diffusion of the antiferromagnetism layer 31 and the 1st fixed magnetic layer (below) 32 which are formed below the free magnetic layer 36. For this reason, it is desirable to enlarge (the thickness tP2 of the fixed magnetic layer (above) 41 of thickness tP1/2nd of the 1st fixed magnetic layer (above) 43) (thickness tP2 of the fixed magnetic layer (below) 34 of thickness tP1/2nd of the 1st fixed magnetic layer (below) 32) in this invention. In addition, generating of said thermal diffusion layer is a phenomenon which happens also like [magnetic layer / not only the dual spin bulb mold thin film shown in drawing 5 but / 16 / free] the single spin bulb mold thin film (refer to drawing 1) by which the antiferromagnetism layer 11 was formed in the bottom.

[0097] If there is no difference in magnetic thickness Ms-tP1 of the 1st fixed magnetic layer (below) 32 and 43 (above), and magnetic thickness Ms-tP2 of the 2nd fixed magnetic layer (below) 34 and 41 (above) to some extent as mentioned above A magnetization condition leads to the fall of a switched connection field and is not desirable, even if it will be hard to be in a ferry condition and the difference of magnetic thickness Ms-tP1 of the 1st fixed magnetic layer (below) 32 and 43 (above) and magnetic thickness Ms-tP2 of the 2nd fixed magnetic layer (below) 34 and 41 (above) becomes large too much. so, in this invention, like the thickness ratio of the thickness tP1 of the 1st fixed magnetic layer (below) 32 and 43 (above), and the thickness tP2 of the 2nd fixed magnetic layer (below) 34 and 41 (above) As for (magnetic thickness Ms-tP1 of 1st fixed magnetic layer (below) 32 and 43 (above))/(magnetic thickness Ms-tP2 of the 2nd fixed magnetic layer (below) 34 and 41 (above)), it is desirable that it is with within the limits of 0.33 to 0.95, or 1.05-4. In this invention, magnetic thickness Ms-tP1 of the 1st fixed magnetic layer (below) 32 and 43 (above) and magnetic thickness Ms-tP2 of the 2nd fixed magnetic layer (below) 34 and 41 (above) moreover, within the limits of 10-70 (angstrom tesla) And it is desirable that the absolute value which lengthened magnetic thickness Ms-tP2 of the 2nd fixed magnetic layer (below) 34 and 41 (above) from magnetic thickness Ms-tP1 of the 1st fixed magnetic layer (below) 32 and 43 (above) is more than two (angstrom tesla).

[0098] Moreover (magnetic thickness Ms-tP1 of the 1st fixed magnetic layer (below) 32 and 43 (above)), it is more desirable that / (magnetic thickness Ms-tP2 of the 2nd fixed magnetic layer (below) 34 and 41 (above)) is within the limits of 0.53 to 0.95, or 1.05-1.8. Moreover, it is [above-mentioned] within the limits, and both magnetic thickness Ms-tP1 of the 1st fixed magnetic layer (below) 32 and 43 (above) and magnetic thickness Ms-tP2 of the 2nd fixed magnetic layer (below) 34 and 41 (above) are within the limits of 10-50 (angstrom tesla). And as for the absolute value which lengthened magnetic thickness Ms-tP2 of the 2nd fixed magnetic layer (below) 34 and 41 (above) from magnetic thickness Ms-tP1 of the 1st fixed magnetic layer (below) 32 and 43 (above), it is desirable that it is more than two (angstrom tesla).

[0099] Next, as for the nonmagnetic interlayers 33 and 42 who intervene among the 1st fixed magnetic layer (below) 32 and 43 (above) and the 2nd fixed magnetic layer (below) 34 and 41 (above) which are shown in drawing 5 , it is desirable to be formed with one sort or two sorts or more of alloys among Ru, Rh, Ir, Cr, Re, and Cu. As for said nonmagnetic interlayer's (below) 33 thickness formed below the free magnetic layer 36 as shown in drawing 5 , it is desirable to be formed within the limits of 3.6-9.6A. If it is this within the limits, it is possible to acquire the switched connection field (Hex) more than 500 (Oe). Moreover, if said nonmagnetic interlayer's

(below) 33 thickness is formed within the limits of 4–9.4Å, since it can acquire the switched connection field more than 1000 (Oe), it is more desirable.

[0100] Moreover, as this invention shows to drawing 5, as for the nonmagnetic interlayer's (above) 42 thickness formed above the free magnetic layer 36, it is desirable that it is within the limits of 2.5–6.4Å or 6.8–10.7Å. The switched connection field (H_{ex}) more than at least 500 (Oe) can be acquired as it is this within the limits. Moreover, as for said nonmagnetic interlayer's (above) 42 thickness, in this invention, it is more desirable that it is within the limits of 2.8–6.2Å or 6.8–10.3Å. It is possible to acquire the switched connection field more than at least 1000 (Oe) as it is this within the limits.

[0101] Moreover, if said antiferromagnetism layers 31 and 44 are formed by at least 100Å or more, it is possible to acquire the switched connection field more than 500 (Oe). Moreover, if said thickness is made into 110Å or more, it is possible to acquire the switched connection field more than 1000 (Oe).

[0102] In the former, according to [since the thickness of said antiferromagnetism layers 31 and 44 was formed by about 200Å or more] this invention, it is possible to form said antiferromagnetism layers 31 and 44 by the thickness of abbreviation one half, and especially, since two-layer formation of the antiferromagnetism layers 31 and 44 is carried out when it is a dual spin bulb mold thin film, compared with the former, about 200Å or more of thickness of the whole spin bulb mold thin film can be made thin. Thus, in the spin bulb mold thin film formed thinly, even if it makes thick to extent which fully maintains insulation the lower gap layer 121 shown in drawing 13, and the up gap layer 125, gap length G_1 can be made thin and it can respond to high density record-ization. In addition, the thickness ratio and thickness of the 1st fixed magnetic layer (below) 32 and 43 (above) and the 2nd fixed magnetic layer (below) 34 and 41 (above), By adjusting proper within limits which mentioned above the nonmagnetic interlayers' (below) 33 and 42 (above) thickness, and the thickness of the antiferromagnetism layers 31 and 44, ΔMR comparable as the former can be maintained and it is possible to specifically obtain about 10% or more of ΔMR .

[0103] As shown in drawing 5, the thickness tP_1 of the 1st fixed magnetic layer (below) 32 formed below the free magnetic layer 36 is thinly formed compared with the thickness tP_2 of the 2nd fixed magnetic layer (below) 34 formed through the nonmagnetic interlayer 33. On the other hand, the thickness tP_1 of the 1st fixed magnetic layer (above) 43 currently formed above the free magnetic layer 36 is thickly formed compared with the thickness tP_2 of the 2nd fixed magnetic layer 41 (above) formed through the nonmagnetic interlayer 42. And both magnetization of the 1st fixed magnetic layer (below) 32 and 43 (above) is magnetized by the direction of illustration Y, and the opposite direction, and it will be magnetized by magnetization of the 2nd fixed magnetic layer (below) 34 and 41 (above) in the direction of illustration Y.

[0104] If it is in the case of the single spin bulb mold thin film shown in drawing 1 and drawing 3, thickness etc. may be adjusted so that M_s-tP_1 of the 1st fixed magnetic layer may differ from M_s-tP_2 of the 2nd fixed magnetic layer, and either the direction of illustration Y, the direction of illustration Y, or an opposite direction is OK as the sense of magnetization of the 1st fixed magnetic layer. However, if it is in the dual spin bulb mold thin film shown in drawing 5 There is [therefore] the need of making it suitable [both magnetization of the 1st fixed magnetic layer (below) 32 and 43 (above)] in the same direction. In this invention The direction of the magnetic field impressed during adjustment with magnetic-moment M_s-tP_1 of the 1st fixed magnetic layer (below) 32 and 43 (above) and magnetic-moment M_s-tP_2 of the 2nd fixed magnetic layer (below) 34 and 41 (above) and heat treatment and its magnitude are adjusted proper.

[0105] Here, magnetization of the 1st fixed magnetic layer (below) 32 and 43 (above) is both turned in the same direction for both turning magnetization of the 2nd fixed magnetic layer (below) 34 and 41 (above) which becomes said the 1st magnetization and anti-parallel of the fixed magnetic layers (below) 32 and 43 (above) in the same direction, and it explains the reason below. As mentioned above, although ΔMR of a spin bulb mold thin film is obtained with the relation between fixed magnetization of a fixed magnetic layer, and fluctuation magnetization of a free magnetic layer If it is when a fixed magnetic layer is divided by two-layer [of the 1st fixed magnetic layer and the 2nd fixed magnetic layer] like this invention The layer of the fixed magnetic layer which participates in the aforementioned ΔMR directly is the 2nd fixed

magnetic layer, and, so to speak, the 1st fixed magnetic layer is bearing the auxiliary role for fixing magnetization of said 2nd fixed magnetic layer in the fixed direction.

[0106] Supposing magnetization of the 2nd fixed magnetic layer (below) 34 and 41 (above) temporarily shown in drawing 5 is being mutually fixed to the opposite direction. For example, even if resistance becomes large in the relation between fixed magnetization of the 2nd fixed magnetic layer (above) 41, and fluctuation magnetization of the free magnetic layer 36. In the relation between fixed magnetization of the 2nd fixed magnetic layer (below) 34, and fluctuation magnetization of the free magnetic layer 36, resistance becomes very small. After all, ΔMR in a dual spin bulb mold thin film will become smaller than ΔMR of the single spin bulb mold thin film shown in drawing 1 or drawing 3. This problem is not having restricted to the dual spin bulb mold thin film which divided the fixed magnetic layer to two-layer through the nonmagnetic middle class like this invention. It is the same even if it is the conventional dual spin bulb mold thin film. ΔMR can be enlarged compared with a single spin bulb mold thin film, and in order to demonstrate the property of a dual spin bulb mold thin film that a big output can be obtained, it is necessary to both fix the fixed magnetic layer in which a free magnetic layer is formed up and down in the same direction.

[0107] By the way, in this invention, as shown in drawing 5, as for the fixed magnetic layer formed below the free magnetic layer 36, the direction of M_s-tP2 of the 2nd fixed magnetic layer (below) 34 is large compared with M_s-tP1 of the 1st fixed magnetic layer (below) 32, and magnetization of the 2nd large fixed magnetic layer (below) 34 of M_s-tP2 is being fixed in the direction of illustration Y. Here, the so-called synthetic magnetic moment which added M_s-tP2 of the 2nd fixed magnetic layer 34 and M_s-tP1 of the 1st fixed magnetic layer 32 is governed by the magnetic moment of the 2nd large fixed magnetic layer 34 of M_s-tP2 , and is turned in the direction of illustration Y.

[0108] On the other hand, as for the fixed magnetic layer formed above the free magnetic layer 36, the direction of M_s-tP1 of the 1st fixed magnetic layer (above) 43 is large compared with M_s-tP2 of the 2nd fixed magnetic layer (above) 41, and magnetization of the 1st large fixed magnetic layer (above) 43 of M_s-tP1 is being fixed to the direction of illustration Y, and the opposite direction. M_s-tP1 of the 1st fixed magnetic layer (above) 43, and M_s-tP2 of the 2nd fixed magnetic layer (above) 41 — a guide peg — the bottom, the so-called synthetic magnetic moment is governed by M_s-tP1 of the 1st fixed magnetic layer (above) 43, and is turned to the direction of illustration Y, and the opposite direction.

[0109] That is, in the dual spin bulb mold thin film shown in drawing 5, it is the upper and lower sides of the free magnetic layer 36, and the direction of the synthetic magnetic moment which can add and calculate M_s-tP1 of the 1st fixed magnetic layer and M_s-tP2 of the 2nd fixed magnetic layer is an opposite direction. For this reason, the synthetic magnetic moment turned in the direction of illustration Y formed below the free magnetic layer 36 and the synthetic magnetic moment turned to the direction of illustration Y formed above said free magnetic layer 36 and the opposite direction form the field of the circumference of the illustration left. Therefore, it is possible to maintain the ferry condition by which magnetization of the 1st fixed magnetic layer (below) 32 and 43 (above) and magnetization of the 2nd fixed magnetic layer (below) 34 and 41 (above) were stabilized further by the field formed of said synthetic magnetic moment.

[0110] Furthermore, although a sense current field will be formed by the principle of a right screw by mainly flowing focusing on the small nonmagnetic conductive layers 35 and 39 of specific resistance, and passing the sense current 114, the sense current 114. The direction of the sense current field which a sense current makes in the location of the 1st fixed magnetic layer (below) 32 / nonmagnetic interlayer 33 (below) formed in the free magnetic layer 36 bottom by passing the sense current 114 in the direction of drawing 5 / 2nd fixed magnetic layer (below) 34. It can be made in agreement with the direction of the synthetic magnetic moment of said the 1st fixed magnetic layer (below) 32 / nonmagnetic interlayer 33 (below) / 2nd fixed magnetic layer (below) 34. Furthermore, the sense current field which a sense current makes in the location of the 1st fixed magnetic layer (above) 43 / nonmagnetic interlayer 42 (above) formed above the free magnetic layer 36 / 2nd fixed magnetic layer (above) 41. It can be made in agreement with the direction of the synthetic magnetic moment of said the 1st fixed magnetic

layer (above) 43 / nonmagnetic interlayer 42 (above) / 2nd fixed magnetic layer (above) 41.

[0111] Although the merit of making in agreement the direction of a sense current field and the direction of the synthetic magnetic moment is explained in full detail later, if it says simply, since the thermal stability of said fixed magnetic layer being raised and a big sense current can be passed, there is a very large merit [say / that a playback output can be improved]. These relation about the direction of a sense current field and the synthetic magnetic moment is because the synthetic magnetic moment of the fixed magnetic layer in which the free magnetic layer 36 is formed up and down forms the field of the circumference of the illustration left.

[0112] The environmental temperature in equipment rises to about 200 degrees C, and will be in the inclination for environmental temperature to rise further according to the rotational frequency of a record medium, increase of a sense current, etc., further from now on. Thus, if environmental temperature rises, although a switched connection field falls, according to this invention, by the field formed by the synthetic magnetic moment, and the sense current field, also thermally it is stabilized and can maintain magnetization of the 1st fixed magnetic layer (below) 32 and 43 (above), and magnetization of the 2nd fixed magnetic layer (below) 34 and 41 (above) at a ferry condition.

[0113] Formation of the field by the synthetic magnetic moment mentioned above and the direction relation of the field and sense current field by the synthetic magnetic moment are configurations peculiar to this invention, and have not been obtained by the conventional dual spin bulb mold thin film which has the fixed magnetic layer of a free magnetic layer by which was formed by the monolayer up and down, and was moreover turned in the same direction, and fixed magnetization was carried out.

[0114] Next, the direction of the field given during heat treatment and its size are explained below. In the spin bulb mold thin film shown in drawing 5 , in order to make the antiferromagnetism layers 31 and 44 generate a switched connection field (exchange anisotropy field) in an interface with the 1st fixed magnetic layer (below) 32 and 43 (above), such as a PtMn alloy Since the antiferromagnetism ingredient to be heat-treated is used, if the direction of the magnetic field impressed during heat treatment and its magnitude are not controlled proper It cannot obtain in the direction of the 1st fixed magnetic layer (below) 32 and 43 (above) and the 2nd fixed magnetic layer (below) 34 and 41 (above) as shows the direction of magnetization to drawing 5 .

[0115] M_s - tP_1 of the 1st fixed magnetic layer (above) 43 which made smaller than M_s - tP_2 of the 2nd fixed magnetic layer (below) 34 M_s - tP_1 of the 1st fixed magnetic layer (below) 32 formed below the free magnetic layer 36, and was formed above said free magnetic layer 36 in the phase which forms membranes first as shown in drawing 5 is made larger than M_s - tP_2 of the 2nd fixed magnetic layer (above) 41.

[0116] It is necessary to give the field more than 5k (Oe) (to refer to Table 1 and 2 (4) (4)) to the direction of illustration Y, and hard flow by referring to Tables 1 and 2 mentioned above to turn the 1st fixed magnetic layer (below) 32 and 43 (above) to the direction of illustration Y, and an opposite direction, as shown in drawing 5 . By impressing the field more than 5k (Oe) to the direction of illustration Y, and an opposite direction, all of magnetization of the 1st fixed magnetic layer (below) 32 and 43 (above) and magnetization of the 2nd fixed magnetic layer (below) 34 and 41 (above) once turn to the direction of illustration Y, and an opposite direction. Said 1st fixed magnetic layer (below) 32 and 43 (above) By the switched connection field (exchange anisotropy field) in an interface with the antiferromagnetism layers 31 and 44 By being fixed to the direction of illustration Y, and an opposite direction, and removing the field more than 5k (Oe), magnetization of the 2nd fixed magnetic layer (below) 34 and 41 (above) It is reversed in the direction of illustration Y, and a switched connection field (RKKY interaction) with the 1st fixed magnetic layer (below) 32 and 43 (above) is fixed in the direction of illustration Y. Or the field more than 5k (Oe) may be given in the direction of illustration Y. In this case, the magnetization direction and opposite sense which magnetization of the 1st fixed magnetic layer (below) 32 and 43 (above) and magnetization of the 2nd fixed magnetic layer (below) 34 and 41 (above) show to drawing 5 are magnetized, and the field by the clockwise synthetic magnetic moment is formed.

[0117] Moreover, in this invention, M_s - tP_1 of the 1st fixed magnetic layer 43 which made larger

than M_s -tP2 of the 2nd fixed magnetic layer 34 M_s -tP1 of the 1st fixed magnetic layer (below) 32 formed below the free magnetic layer 36, and was formed above said free magnetic layer 36 may be made smaller than M_s -tP2 of the 2nd fixed magnetic layer 41. Also in this case, by impressing the field more than 5k (Oe) to the direction of illustration Y which wants to obtain magnetization of the 1st fixed magnetic layer (below) 32 and 43 (above), i.e., the direction, the direction of illustration Y, and an opposite direction The 2nd fixed magnetic layer (below) 34 and 41 (above) in which the free magnetic layer 36 was formed up and down is turned in the same direction, it can fix, and, moreover, the field by the synthetic magnetic moment of illustration right-handed rotation or left-handed rotation can be formed. In addition, by any approaches other than the above-mentioned approach, magnetization of the 2nd fixed magnetic layer (below) 34 and 41 (above) in which the free magnetic layer 36 was formed up and down cannot be mutually turned in the same direction, and, moreover, formation of the field by the synthetic magnetic moment and direction relation of the field and sense current field by the synthetic magnetic moment cannot be formed.

[0118] Moreover, although it is possible to turn mutually magnetization of the 2nd fixed magnetic layer (below) 34 and 41 (above) in the same direction by the approach shown below by this invention, since the synthetic magnetic moment in which the free magnetic layer 36 is formed up and down turns to the same direction mutually, it cannot form the field by said synthetic magnetic moment. However, if it is the dual spin bulb mold thin film of this invention, deltaMR comparable as the conventional dual spin bulb mold thin film can be obtained also by the following heat treatment approaches, and it is possible to maintain the magnetization condition of a fixed magnetic layer (the 1st fixed magnetic layer and 2nd fixed magnetic layer) at the condition of having been stabilized thermally, compared with the conventional dual spin bulb mold thin film moreover.

[0119] M_s -tP1 of the 1st fixed magnetic layer (below) 32 formed in the free magnetic layer 36 bottom, and M_s -tP1 of the 1st fixed magnetic layer (above) 43 formed in said free magnetic layer 36 bottom first, both When it is made larger than M_s -tP2 of the 2nd fixed magnetic layer (below) 34 and 41 (above) By giving the field more than 100-1k (Oe), or 5k (Oe) in the direction turning magnetization of said 1st fixed magnetic layer (below) 32 and 43 (above) to Said 1st fixed magnetic layer (below) 32 and 43 (above) is both turned in the same direction. By the switched connection field (RKKY interaction) with said 1st fixed magnetic layer (below) 32 and 43 (above) Magnetization of said 1st fixed magnetic layer (below) 32 and 43 (above) and magnetization of the 2nd fixed magnetic layer (below) 34 and 41 (above) magnetized by anti-parallel can both be turned in the same direction, and it can fix.

[0120] M_s -tP1 of the 1st fixed magnetic layer (below) 32 formed in the free magnetic layer 36 bottom, and M_s -tP1 of the 1st fixed magnetic layer (above) 43 formed in said free magnetic layer 36 bottom or both When it is made smaller than M_s -tP2 of the 2nd fixed magnetic layer (below) 34 and 41 (above) To a direction and an opposite direction to turn magnetization of said 1st fixed magnetic layer (below) 32 and 43 (above) to, 100-1k (Oe), Or by giving the field more than 5k (Oe) in the direction turning magnetization of said 1st fixed magnetic layer (below) 32 and 43 (above) to The 1st fixed magnetic layer (below) 32 and 43 (above) is both turned in the same direction. By the switched connection field (RKKY interaction) with said 1st fixed magnetic layer (below) 32 and 43 (above) Magnetization of said 1st fixed magnetic layer (below) 32 and 43 (above) and magnetization of the 2nd fixed magnetic layer (below) 34 and 41 (above) magnetized by anti-parallel can both be turned in the same direction, and it can fix.

[0121] As mentioned above, according to the spin bulb mold thin film shown in drawing 6 from drawing 1, a fixed magnetic layer is divided through a nonmagnetic interlayer to two-layer [of the 1st fixed magnetic layer and the 2nd fixed magnetic layer]. By changing magnetization of said two-layer fixed magnetic layer into an anti-parallel condition (ferry condition) by the switched connection field (RKKY interaction) generated between this two-layer fixed magnetic layer, the magnetization condition of the fixed magnetic layer also thermally stabilized compared with the former can be maintained. The magnetization condition of the 1st fixed magnetic layer and the 2nd fixed magnetic layer is made to what was more excellent in thermal stability by using the PtMn alloy which especially generates the large switched connection field (exchange anisotropy field) at an interface with the 1st fixed magnetic layer with very high and blocking

temperature as an antiferromagnetism layer at this invention.

[0122] Moreover, by forming the thickness of the nonmagnetic interlayer who intervenes between the thickness ratio of the 1st fixed magnetic layer and the 2nd fixed magnetic layer, and said 1st fixed magnetic layer and the 2nd fixed magnetic layer, and the thickness of an antiferromagnetism layer within proper limits in this invention It is possible to be able to enlarge a switched connection field (Hex), therefore to raise more the thermal stability of fixed magnetization of said 1st fixed magnetic layer and the 2nd fixed magnetic layer. In addition, it is also still more possible the thickness ratio of the thickness tP1 of the 1st fixed magnetic layer, and the thickness tP2 of the 2nd fixed magnetic layer, and by forming the thickness of said 1st fixed magnetic layer, the 2nd fixed magnetic layer, a nonmagnetic interlayer, and an antiferromagnetism layer within fitness limits to obtain deltaMR almost comparable as the former.

[0123] Furthermore, by this invention, in order to generate a switched connection field (exchange anisotropy field) in an interface with the 1st fixed magnetic layer, such as a PtMn alloy, as an antiferromagnetism layer, when the antiferromagnetism ingredient which needs heat treatment is used By forming Ms-tP1 of the 1st fixed magnetic layer, and Ms-tP2 of the 2nd fixed magnetic layer with a different value, and adjusting the magnitude of the impression magnetic field under heat treatment, and its direction proper further It is possible for you to make it magnetized in the direction which wants to obtain magnetization of said 1st fixed magnetic layer (and 2nd fixed magnetic layer).

[0124] If it is in the dual spin bulb mold thin film shown especially in drawing 5 By adjusting Ms-tP1 of the 1st fixed magnetic layer (below) 32 and 43 (above), and Ms-tP2 of the 2nd fixed magnetic layer (below) 34 and 41 (above) proper, and adjusting the magnitude of the impression magnetic field under heat treatment, and its direction proper further Two magnetization of the 2nd fixed magnetic layer (below) 34 and 41 (above) in which the free magnetic layer 36 which participates in deltaMR was formed up and down is [both] fixable in the same direction. And by the ability forming mutually in an opposite direction the synthetic magnetic moment in which the free magnetic layer 36 is formed up and down It is possible to be able to perform formation of the field by said synthetic magnetic moment and direction-related formation of the field and sense current field by said synthetic magnetic moment, and to raise the thermal stability of magnetization of a fixed magnetic layer further.

[0125] The cross-sectional view in which drawing 7 showed the structure of the spin bulb mold thin film of the 4th operation gestalt of this invention in mimetic diagram, and drawing 8 are the sectional views at the time of seeing the spin bulb mold thin film shown in drawing 7 from an opposed face with a record medium. Also in this spin bulb mold thin film, it is prepared in the trailing side edge section of the surfacing type slider formed in the hard disk drive unit etc. like the spin bulb mold thin film shown in drawing 1 - drawing 6 , and record fields, such as a hard disk, are detected. In addition, the migration direction of magnetic-recording media, such as a hard disk, is an illustration Z direction, and the direction of the leak field from a magnetic-recording medium is the direction of Y.

[0126] As for this spin bulb mold thin film, not only a fixed magnetic layer but the free magnetic layer is divided by two-layer [of the 1st free magnetic layer and the 2nd free magnetic layer] through the nonmagnetic interlayer. As shown in drawing 7 and 8, the laminating is carried out to the order of the substrate layer 50, the antiferromagnetism layer 51, the 1st fixed magnetic layer 52, the nonmagnetic interlayer 53, the 2nd fixed magnetic layer 54, the nonmagnetic conductive layer 55, the 1st free magnetic layer 56, the nonmagnetic interlayer 59, the 2nd free magnetic layer 60, and a protective layer 61 from the bottom.

[0127] Said substrate layer 50 and protective layer 61 are formed by Ta etc. Moreover, as for said antiferromagnetism layer 51, being formed with the PtMn alloy is desirable. Compared with a NiMn alloy, a FeMn alloy, etc. which are used as an antiferromagnetism layer from the former, it excels in corrosion resistance, and moreover, a PtMn alloy has high blocking temperature and its switched connection field is also large. Moreover, in this invention, it may replace with said PtMn alloy and a X-Mn (however, X is one-sort [any] or two sorts or more of elements of Pd, Ir, Rh, and Ru) alloy or a Pt-Mn-X' (however, X' is one-sort [any] or two sorts or more of elements of Pd, Ir, Rh, Ru, Au, and Ag) alloy may be used.

[0128] The 1st fixed magnetic layer 52 and the 2nd fixed magnetic layer 54 are formed with Co film, the NiFe alloy, the CoFe alloy, or the CoNiFe alloy. Moreover, as for the nonmagnetic interlayer 53, it is desirable to be formed with one sort or two sorts or more of alloys among Ru, Rh, Ir, Cr, Re, and Cu. Furthermore, the nonmagnetic conductive layer 55 is formed by Cu etc.

[0129] Magnetization of said 1st fixed magnetic layer 52 and magnetization of the 2nd fixed magnetic layer 54 are in the ferry condition mutually magnetized by anti-parallel, for example, magnetization of the 1st fixed magnetic layer 52 is fixed in the direction of illustration Y, and magnetization of the 2nd fixed magnetic layer 54 is being fixed to the direction of illustration Y, and the opposite direction. A switched connection field large in order to maintain the stability of this ferry condition is required, and in this invention, in order to acquire a bigger switched connection field, various rationalization shown below is performed. In drawing 7 and the spin bulb mold thin film shown in 8, as for (thickness tP1 of 1st fixed magnetic layer 52)/(thickness tP2 of the 2nd fixed magnetic layer 54), it is desirable that it is within the limits of 0.33 to 0.95, or 1.05–4, and it is considering as within the limits of 0.53 to 0.95, or 1.08–1.8 more preferably. Moreover, if it is in the thickness of the 1st fixed magnetic layer 52 and the 2nd fixed magnetic layer 54 It is desirable that it is ≥ 2 A and it is 10–50A more preferably. both — 10–70A — it is — and ** — thickness tP1— of the 1st fixed magnetic layer 52 — thickness tP2** of the 2nd fixed magnetic layer 54 — and ** — thickness tP1— of the 1st fixed magnetic layer 52 — thickness tP2** of the 2nd fixed magnetic layer 54 — it is ≥ 2 A.

[0130] If there is no difference in magnetic thickness Ms-tp1 of the 1st fixed magnetic layer 52, and magnetic thickness Ms-tp2 of the 2nd fixed magnetic layer 54 to some extent as mentioned above, a magnetization condition leads to the fall of a switched connection field and is not desirable, even if it will be hard to be in a ferry condition and the difference of magnetic thickness Ms-tp1 of the 1st fixed magnetic layer 52 and magnetic thickness Ms-tp2 of the 2nd fixed magnetic layer 54 becomes large too much. So, as for (magnetic thickness Ms-tp1 of 1st fixed magnetic layer 52)/(magnetic thickness Ms-tp2 of the 2nd fixed magnetic layer 54), in this invention, it is desirable like the thickness ratio of the thickness tp1 of the 1st fixed magnetic layer 52, and the thickness tp2 of the 2nd fixed magnetic layer 54 that it is with within the limits of 0.33 to 0.95, or 1.05–4. moreover — this invention — magnetic thickness Ms-tp1 of the 1st fixed magnetic layer 52, and magnetic thickness Ms-tp2 of the 2nd fixed magnetic layer 54 — within the limits of 10–70 (angstrom tesla) — and it is desirable that the absolute value which lengthened magnetic thickness Ms-tp2 of the 2nd fixed magnetic layer 54 from magnetic thickness Ms-tp1 of the 1st fixed magnetic layer 52 is more than two (angstrom tesla).

[0131] Moreover (magnetic thickness Ms-tp1 of the 1st fixed magnetic layer 52), it is more desirable that / (magnetic thickness Ms-tp2 of the 2nd fixed magnetic layer 54) is within the limits of 0.53 to 0.95, or 1.05–1.8. Moreover, it is [above-mentioned] within the limits, and both magnetic thickness Ms-tp1 of the 1st fixed magnetic layer 52 and magnetic thickness Ms-tp2 of the 2nd fixed magnetic layer 54 are within the limits of 10–50 (angstrom tesla), and, as for the absolute value which moreover lengthened magnetic thickness Ms-tp2 of the 2nd fixed magnetic layer 54 from magnetic thickness Ms-tp1 of the 1st fixed magnetic layer 52, it is desirable [Ms-tp] that it is more than two (angstrom tesla).

[0132] Moreover, as for the thickness of the nonmagnetic interlayer 53 who intervenes between the 1st fixed magnetic layer 52 and the 2nd fixed magnetic layer 54, it is desirable that it is within the limits of 3.6–9.6A. If it is this within the limits, the switched connection field more than 500 (Oe) can be acquired. More preferably, if it is within the limits of 4–9.4A and is this within the limits, it is possible to acquire the switched connection field more than 1000 (Oe). As for the thickness of the antiferromagnetism layer 51, it is still more desirable that it is 90A or more. If it is this within the limits, it is possible to acquire the switched connection field more than 500 (Oe). More preferably, it is 100A or more, and if it is this within the limits, the switched connection field more than 1000 (Oe) can be acquired.

[0133] The 1st free magnetic layer 56 is formed on drawing 7 and the nonmagnetic conductive layer 55 shown in 8. As shown in drawing 7 and 8, said 1st free magnetic layer 56 is formed by two-layer, and the Co film 57 is formed in the side which touches the nonmagnetic conductive layer 55. The Co film 57 is formed in the side which touches the nonmagnetic conductive layer 55 for preventing diffusion with the nonmagnetic conductive layer 55 to the 1st that deltaMR can

be enlarged and the 2nd. The NiFe alloy film 58 is formed on said Co film 57. Furthermore on said NiFe alloy film 58, the nonmagnetic interlayer 59 is formed. And the 2nd free magnetic layer 60 is formed on said nonmagnetic interlayer 59, and the protective layer 61 formed by Ta etc. is further formed on said 2nd free magnetic layer 60. Said 2nd free magnetic layer 60 is formed with Co film, the NiFe alloy, the CoFe alloy, or the CoNiFe alloy.

[0134] As for the spin bulb film from the substrate layer 50 shown in drawing 8 to a protective layer 61, the side face is deleted in an inclined plane, and said spin bulb film is formed with trapezoidal shape. The hard bias layers 62 and 62 and conductive layers 63 and 63 are formed in the both sides of said spin bulb film. Said hard bias layer 62 is formed with the Co-Pt alloy, the Co-Cr-Pt alloy, etc., and said conductive layer 63 is formed by Cu, Cr, etc.

[0135] The nonmagnetic interlayer 59 intervenes between drawing 7, the 1st free magnetic layer 56 shown in 8, and the 2nd free magnetic layer 60, and magnetization of said 1st free magnetic layer 56 and magnetization of the 2nd free magnetic layer 60 are in the anti-parallel condition (ferry condition) mutually by the switched connection field (RKKY interaction) generated between said 1st free magnetic layer 56 and the 2nd free magnetic layer 60.

[0136] In the spin bulb mold thin film shown in drawing 8, the thickness $tF1$ of the 1st free magnetic layer 56 is formed smaller than the thickness $tF2$ of the 2nd free magnetic layer 60, for example. And M_s-tF1 of said 1st free magnetic layer 56 If it is set up smaller than M_s-tF2 of the 2nd free magnetic layer 60 and a bias field is given in the direction of illustration X from the hard bias layer 62 Magnetization of the 2nd large free magnetic layer 60 of M_s-tF2 is arranged in the direction of illustration X in response to the effect of said bias field. By the switched connection field (RKKY interaction) with said 2nd free magnetic layer 60 Magnetization of the 1st small free magnetic layer 56 of M_s-tF1 is arranged with the direction of illustration X, and an opposite direction.

[0137] If an external magnetic field invades from illustration Y, magnetization of said 1st free magnetic layer 56 and the 2nd free magnetic layer 60 will rotate in response to the effect of said external magnetic field, maintaining a ferry condition. And with the relation between fluctuation magnetization of the 1st free magnetic layer 56 which contributes to ΔMR , and fixed magnetization (for example, the direction of illustration Y and the opposite direction are magnetized) of the 2nd fixed magnetic layer 54, electric resistance changes and the signal of an external magnetic field is detected. In this invention, while the thickness ratio of the thickness $tF1$ of the 1st free magnetic layer 56 and the thickness $tF2$ of the 2nd free magnetic layer 60 can be rationalized and a bigger switched connection field can be acquired, it makes it possible to obtain ΔMR almost comparable as the former.

[0138] It is desirable that (the thickness $tF2$ of the free magnetic layer 60 of thickness $tF1/2nd$ of the 1st free magnetic layer 56) is within the limits of 0.56 to 0.83, or 1.25-5 in this invention. It is possible to acquire the switched connection field more than at least 500 (Oe) as it is this within the limits. Moreover, as for the above (thickness $tF2$ of the free magnetic layer 60 of thickness $tF1/2nd$ of the 1st free magnetic layer 56), in this invention, it is more desirable that it is within the limits of 0.61 to 0.83, or 1.25-2.1. It is possible to acquire the switched connection field more than at least 1000 (Oe) as it is this within the limits.

[0139] In addition (thickness $tF2$ of the free magnetic layer 60 of thickness $tF1/2nd$ of the 1st free magnetic layer 56), having excepted the range of 0.83-1.25 inside The thickness $tF1$ of said 1st free magnetic layer 56 and the thickness $tF2$ of the 2nd free magnetic layer 60 are formed with the almost same value. M_s-tF1 of said 1st free magnetic layer 56, If M_s-tF2 of the 2nd free magnetic layer 60 is set as the almost same value In order to keep both of the 1st free magnetic layer 56 and the 2nd free magnetic layer 60 of the magnetization in said direction of a bias field as the other side in response to the effect of the bias field from the hard bias layer 62, It becomes impossible for magnetization of said 1st free magnetic layer 56 and magnetization of the 2nd free magnetic layer 60 not to be in an anti-parallel condition, but to maintain the stable magnetization condition.

[0140] Moreover, if there is no difference in magnetic thickness M_s-tF1 of the 1st free magnetic layer 56, and magnetic thickness M_s-tF2 of the 2nd free magnetic layer 60 to some extent, even if it will be hard to be in a ferry condition and the difference of magnetic thickness M_s-tF1 of the 1st free magnetic layer 56 and magnetic thickness M_s-tF2 of the 2nd free magnetic layer 60

becomes large too much, it leads to the fall of a switched connection field and is not desirable [a magnetization condition]. So, as for (magnetic thickness M_s - t_{F1} of 1st free magnetic layer 56)/(magnetic thickness M_s - t_{F2} of the 2nd free magnetic layer 60), in this invention, it is desirable like the thickness ratio of the thickness t_{F1} of the 1st free magnetic layer 56, and the thickness t_{F2} of the 2nd free magnetic layer 60 that it is within the limits of 0.56 to 0.83, or 1.25-5. Moreover, it is more desirable that (magnetic thickness M_s - t_{F1} of 1st free magnetic layer 56)/(magnetic thickness M_s - t_{F2} of the 2nd free magnetic layer 60) is within the limits of 0.61 to 0.83, or 1.25-2.1 in this invention.

[0141] Moreover, as for the nonmagnetic interlayer 59 who intervenes in this invention between the 1st free magnetic layer 56 and the 2nd free magnetic layer 60, it is desirable to be formed with one sort or two sorts or more of alloys among Ru, Rh, Ir, Cr, Re, and Cu. As for said nonmagnetic interlayer's 59 thickness, it is still more desirable that it is within the limits of 5.5-10.0Å. If it is this within the limits, it is possible to acquire the switched connection field more than 500 (Oe). Moreover, as for said nonmagnetic interlayer's 59 thickness, it is more desirable that it is within the limits of 5.9-9.4Å. If it is this within the limits, the switched connection field more than 1000 (Oe) can be acquired. In addition, it is possible the thickness ratio of the 1st fixed magnetic layer 52 and the 2nd fixed magnetic layer 54, the nonmagnetic interlayer 53, and the antiferromagnetism layer 51, and by adjusting the thickness ratio of the 1st free magnetic layer 56 and the 2nd free magnetic layer 60, and the nonmagnetic interlayer's 59 thickness further to obtain ΔMR (resistance rate of change) comparable as the former at above-mentioned numeric-value within the limits.

[0142] Next, the approach of heat treatment is explained. In drawing 7 and the spin bulb mold thin film shown in 8, the antiferromagnetism ingredient which a switched connection field (exchange anisotropy field) generates in an interface with the 1st fixed magnetic layer 52 is used by heat-treating a PtMn alloy etc. in the antiferromagnetism layer 51. For this reason, the direction of the magnetic field impressed during said heat treatment and its magnitude are controlled proper, and there is the need of adjusting the magnetization direction of the 1st fixed magnetic layer 52 and the 2nd fixed magnetic layer 54.

[0143] Temporarily, when M_s - t_{P1} of the 1st fixed magnetic layer 52 is larger than M_s - t_{P2} of the 2nd fixed magnetic layer 54, it should just impress the magnetic field of 100-1k (Oe), or 5k (Oe) in the direction to turn magnetization of said 1st fixed magnetic layer 52 to. For example, if you want to turn said 1st fixed magnetic layer 52 in the direction of illustration Y, the field of 100-1k (Oe) is given in the direction of illustration Y. Magnetization of said 1st fixed magnetic layer 52 is fixed in the direction of illustration Y by the switched connection field (exchange anisotropy field) which generates magnetization of the 1st large fixed magnetic layer 52 of M_s - t_{P1} in an interface with the antiferromagnetism layer 51 toward the direction of a magnetic field of illustration Y, i.e., the direction. On the other hand, magnetization of the 2nd fixed magnetic layer 54 is fixed toward the direction of illustration Y, and an opposite direction by the switched connection field (RKKY interaction) with the 1st fixed magnetic layer 52. Or the field more than 5k (Oe) is given in the direction of illustration Y. Since the switched connection field (RKKY interaction) of the 1st fixed magnetic layer 52 and the 2nd fixed magnetic layer 54 is 1k(Oe) k [-5] (Oe) extent, both magnetization of said 1st fixed magnetic layer 52 and magnetization of the 2nd fixed magnetic layer 54 are suitable in the direction of illustration Y by impressing the magnetic field more than 5k (Oe). At this time, magnetization of said 1st fixed magnetic layer 52 is fixed in the direction of illustration Y by the switched connection field (exchange anisotropy field) generated in an interface with the antiferromagnetism layer 51. On the other hand, when the magnetic field more than 5k (Oe) is removed, magnetization of the 2nd fixed magnetic layer 54 is turned and fixed to the direction of illustration Y, and an opposite direction by the switched connection field (RKKY interaction) with said 1st fixed magnetic layer 52.

[0144] Moreover, when M_s - t_{P1} of the 1st fixed magnetic layer 52 is smaller than M_s - t_{P2} of the 2nd fixed magnetic layer 54, it should just impress the magnetic field more than 5k (Oe) in a direction to turn magnetization of said 1st fixed magnetic layer 52 to, and the direction which wants to turn magnetization of 100-1k (Oe), or said 1st fixed magnetic layer 52 to an opposite direction. For example, if you want to turn the 1st fixed magnetic layer 52 in the direction of illustration Y, the magnetic field of 100-1k (Oe) is given to the direction of illustration Y, and an

opposite direction. Magnetization of said 1st fixed magnetic layer 52 is turned in the direction of illustration Y for magnetization of the 2nd large fixed magnetic layer 54 of Ms-tP2 by this toward the said direction of a magnetic field of illustration Y, i.e., the direction, and an opposite direction by said the 2nd fixed magnetic layer 54 and switched connection field (RKKY interaction).

Magnetization of said 1st fixed magnetic layer 52 is fixed in the direction of illustration Y by the switched connection field (exchange anisotropy field) generated in an interface with the antiferromagnetism layer 51, and magnetization of the 2nd fixed magnetic layer 54 is fixed to the direction of illustration Y, and an opposite direction. Or the field more than 5k (Oe) can be given in the direction of illustration Y, and ** is good. By giving the field more than 5k (Oe), both magnetization of the 1st fixed magnetic layer 52 and the 2nd fixed magnetic layer 54 is turned in the direction of illustration Y, and magnetization of said 1st fixed magnetic layer 52 is fixed in the direction of illustration Y by the switched connection field (exchange anisotropy field) in an interface with the antiferromagnetism layer 51. When the magnetic field more than 5k (Oe) is removed, magnetization of the 2nd fixed magnetic layer 54 turned in the direction of illustration Y is turned and fixed to the direction of illustration Y, and an opposite direction by the switched connection field (RKKY interaction) with said 1st fixed magnetic layer 52.

[0145] Moreover, when a positive direction, the direction of illustration X, an opposite direction and the direction of illustration Y, and an opposite direction are made into a negative direction for the direction of illustration X, and the direction of illustration Y in this invention, The so-called absolute value of the synthetic magnetic moment which added Ms-tF1 of the 1st free magnetic layer 56, and Ms-tF2 of the 2nd free magnetic layer 60 The larger one than the absolute value of the synthetic magnetic moment which added Ms-tP1 of the 1st fixed magnetic layer 52 and Ms-tP2 of the 2nd fixed magnetic layer 54 is desirable. namely, $^{**}(Ms-tF1+Ms-tF2)/(Ms-tP1+Ms-tP2)$ ** — it is desirable that it is >1.

[0146] The absolute value of the synthetic magnetic moment of the 1st free magnetic layer 56 and the 2nd free magnetic layer 60 by making it larger than the absolute value of the synthetic magnetic moment of the 1st fixed magnetic layer 52 and the 2nd fixed magnetic layer 54 Magnetization of said 1st free magnetic layer 56 and the 2nd free magnetic layer 60 stops easily being influenced of the synthetic magnetic moment of the 1st fixed magnetic layer 52 and the 2nd fixed magnetic layer 54. It becomes possible for magnetization of said 1st free magnetic layer 56 and the 2nd free magnetic layer 60 to be highly sensitive, to rotate to an external magnetic field, and to raise an output.

[0147] The cross-sectional view in which drawing 9 showed the spin bulb mold thin film of the 5th operation gestalt of this invention in mimetic diagram, and drawing 10 are the sectional views at the time of seeing the spin bulb mold thin film shown in drawing 9 from an opposed face with a record medium. This spin bulb mold thin film makes reverse sequence of the laminating of drawing 7 and the spin bulb mold thin film shown in 8. That is, from the bottom, the laminating is carried out in the order of the substrate layer 70, the 2nd free magnetic layer 71, the nonmagnetic interlayer 72, the 1st free magnetic layer 73, the nonmagnetic conductive layer 76, the 2nd fixed magnetic layer 77, the nonmagnetic interlayer 78, the 1st fixed magnetic layer 79, the antiferromagnetism layer 80, and a protective layer 81.

[0148] Said substrate layer 70 and protective layer 81 are formed by Ta etc. As for said antiferromagnetism layer 80, being formed with the PtMn alloy is desirable. Compared with a NiMn alloy, a FeMn alloy, etc. which are used as an antiferromagnetism layer from the former, it excels in corrosion resistance, and moreover, a PtMn alloy has high blocking temperature and its switched connection field is also large. Moreover, in this invention, it may replace with said PtMn alloy and a X-Mn (however, X is one-sort [any] or two sorts or more of elements of Pd, Ir, Rh, and Ru) alloy or a Pt-Mn-X' (however, X' is one-sort [any] or two sorts or more of elements of Pd, Ir, Rh, Ru, Au, and Ag) alloy may be used.

[0149] The 1st fixed magnetic layer 79 and the 2nd fixed magnetic layer 77 are formed with Co film, the NiFe alloy, the CoFe alloy, or the CoNiFe alloy. Moreover, as for the nonmagnetic interlayer 78, it is desirable to be formed with one sort or two sorts or more of alloys among Ru, Rh, Ir, Cr, Re, and Cu. Furthermore, the nonmagnetic conductive layer 76 is formed by Cu etc.

[0150] moreover, in drawing 9 and the spin bulb mold thin film shown in 10 (Thickness tP1 of 1st fixed magnetic layer 79)/(thickness tP2 of the 2nd fixed magnetic layer 77) It is desirable that it

is within the limits of 0.33 to 0.95, or 1.05–4. And both the thickness t_{P1} of the 1st fixed magnetic layer 79 and the thickness t_{P2} of the 2nd fixed magnetic layer 77 are within the limits of 10–70Å. and ** — thickness t_{P1} of the 1st fixed magnetic layer 79 — thickness t_{P2} of the 2nd fixed magnetic layer 77 — it is desirable that it is more than ≥ 2 Å. If it is within the limits and adjusts [above-mentioned] proper, it is possible to acquire the switched connection field more than 500 (Oe).

[0151] Furthermore by this invention, (thickness t_{P1} of 1st fixed magnetic layer 79)/(thickness t_{P2} of the 2nd fixed magnetic layer 77) It is more desirable that it is within the limits of 0.53 to 0.95, or 1.05–1.8. And both the thickness t_{P1} of the 1st fixed magnetic layer 79 and the thickness t_{P2} of the 2nd fixed magnetic layer 77 are within the limits of 10–50Å. and ** — thickness t_{P1} of the 1st fixed magnetic layer 79 — thickness t_{P2} of the 2nd fixed magnetic layer 77 — it is more desirable that it is more than ≥ 2 Å. The above-mentioned thing for which it is within the limits and the switched connection field more than accommodation ***** and 1000 (Oe) is acquired proper is possible.

[0152] If there is no difference in magnetic thickness M_s — t_{P1} of the 1st fixed magnetic layer 79, and magnetic thickness M_s — t_{P2} of the 2nd fixed magnetic layer 77 to some extent as mentioned above, a magnetization condition leads to the fall of a switched connection field and is not desirable, even if it will be hard to be in a ferry condition and the difference of magnetic thickness M_s — t_{P1} of the 1st fixed magnetic layer 79 and magnetic thickness M_s — t_{P2} of the 2nd fixed magnetic layer 77 becomes large too much. So, as for (magnetic thickness M_s — t_{P1} of 1st fixed magnetic layer 79)/(magnetic thickness M_s — t_{P2} of the 2nd fixed magnetic layer 77), in this invention, it is desirable like the thickness ratio of the thickness t_{P1} of the 1st fixed magnetic layer 79, and the thickness t_{P2} of the 2nd fixed magnetic layer 77 that it is within the limits of 0.33 to 0.95, or 1.05–4. moreover — this invention — magnetic thickness M_s — t_{P1} of the 1st fixed magnetic layer 79, and magnetic thickness M_s — t_{P2} of the 2nd fixed magnetic layer 77 — within the limits of 10–70 (angstrom tesla) — and it is desirable that the absolute value which lengthened magnetic thickness M_s — t_{P2} of the 2nd fixed magnetic layer 77 from magnetic thickness M_s — t_{P1} of the 1st fixed magnetic layer 79 is more than two (angstrom tesla).

[0153] Moreover (magnetic thickness M_s — t_{P1} of the 1st fixed magnetic layer 79), it is more desirable that / (magnetic thickness M_s — t_{P2} of the 2nd fixed magnetic layer 77) is within the limits of 0.53 to 0.95, or 1.05–1.8. Moreover, it is [above-mentioned] within the limits, and both magnetic thickness M_s — t_{P1} of the 1st fixed magnetic layer 79 and magnetic thickness M_s — t_{P2} of the 2nd fixed magnetic layer 77 are within the limits of 10–50 (angstrom tesla), and, as for the absolute value which moreover lengthened magnetic thickness M_s — t_{P2} of the 2nd fixed magnetic layer 77 from magnetic thickness M_s — t_{P1} of the 1st fixed magnetic layer 79, it is desirable [M_s — t_{P1}] that it is more than two (angstrom tesla).

[0154] Moreover, as for the thickness of the nonmagnetic interlayer 78 who intervenes between the 1st fixed magnetic layer 79 and the 2nd fixed magnetic layer 77, it is desirable that it is within the limits of 2.5–6.4, or 6.6–10.7Å. If it is this within the limits, the switched connection field more than 500 (Oe) can be acquired. More preferably, if it is within the limits of 2.8–6.2Å or 6.8–10.3Å and is this within the limits, it is possible to acquire the switched connection field more than 1000 (Oe). As for the thickness of the antiferromagnetism layer 80, it is still more desirable that it is 90Å or more. If it is this within the limits, it is possible to acquire the switched connection field more than 500 (Oe). More preferably, it is 100Å or more, and if it is this within the limits, the switched connection field more than 1000 (Oe) can be acquired.

[0155] In the spin bulb mold thin film shown in drawing 10, the free magnetic layer is divided and formed in two-layer, the 1st free magnetic layer 73 is formed in the side which touches the nonmagnetic conductive layer 76, and another free magnetic layer is the 2nd free magnetic layer 71. As shown in drawing 10, the 1st free magnetic layer 73 is formed by two-layer, and the layer 75 formed in the side which touches the nonmagnetic conductive layer 76 is formed by Co film. Moreover, the layer 74 formed in the side which touches the nonmagnetic interlayer 72, and the 2nd free magnetic layer 71 are formed with for example, the NiFe alloy, the CoFe alloy, or the CoNiFe alloy.

[0156] As for the spin bulb film from the substrate layer 70 shown in drawing 10 to a protective layer 81, the side face is deleted in an inclined plane, and said spin bulb film is formed with

trapezoidal shape. The hard bias layers 82 and 82 and conductive layers 83 and 83 are formed in the both sides of said spin bulb film. Said hard bias layer 82 is formed with the Co-Pt alloy, the Co-Cr-Pt alloy, etc., and said conductive layer 83 is formed by Cu, Cr, etc.

[0157] The nonmagnetic interlayer 72 intervenes between the 1st free magnetic layer 73 shown in drawing 10, and the 2nd free magnetic layer 71, and magnetization of said 1st free magnetic layer 73 and magnetization of the 2nd free magnetic layer 71 are anti-parallel by the switched connection field (RKKY interaction) generated between said 1st free magnetic layer 73 and the 2nd free magnetic layer 71 (ferry condition). In the spin bulb mold thin film shown in drawing 10, the thickness TF 1 of the 1st free magnetic layer 73 is formed more greatly than the thickness TF 2 of the 2nd free magnetic layer 71, for example. And M_s-tF1 of said 1st free magnetic layer 73 If it is set up so that it may become larger than M_s-tF2 of the 2nd free magnetic layer 71, and a bias field is given in the direction of illustration X from the hard bias layer 82 Magnetization of the 1st large free magnetic layer 73 of M_s-tF1 is influenced of said bias field. It is arranged in the direction of illustration X, and magnetization of the 2nd small free magnetic layer 71 of M_s-tF2 is arranged with the direction of illustration X, and an opposite direction by the switched connection field (RKKY interaction) with said 1st free magnetic layer 73. In addition, in this invention, the thickness tF1 of the 1st free magnetic layer 73 may be formed smaller than the thickness tF2 of the 2nd free magnetic layer 71, and M_s-tF1 of said 1st free magnetic layer 73 may be set up smaller than M_s-tF2 of the 2nd free magnetic layer 71.

[0158] If an external magnetic field invades from illustration Y, magnetization of said 1st free magnetic layer 73 and the 2nd free magnetic layer 71 will rotate in response to the effect of said external magnetic field, maintaining a ferry condition. And with the relation between the magnetization direction of the 1st free magnetic layer 73 which contributes to ΔMR , and fixed magnetization of the 2nd fixed magnetic layer 71, electric resistance changes and the signal of an external magnetic field is detected. In this invention, while the thickness ratio of the thickness TF 1 of the 1st free magnetic layer 73 and the thickness TF 2 of the 2nd free magnetic layer 71 can be rationalized and a bigger switched connection field can be acquired, it makes it possible to obtain ΔMR almost comparable as the former.

[0159] It is desirable that (the thickness tF2 of the free magnetic layer 71 of thickness tF1/2nd of the 1st free magnetic layer 73) is within the limits of 0.56 to 0.83, or 1.25-5 in this invention. It is possible to acquire the switched connection field more than at least 500 (Oe) as it is this within the limits. Moreover, as for the above (thickness tF2 of the free magnetic layer 71 of thickness tF1/2nd of the 1st free magnetic layer 73), in this invention, it is more desirable that it is within the limits of 0.61 to 0.83, or 1.25-2.1. It is possible to acquire the switched connection field more than at least 1000 (Oe) as it is this within the limits.

[0160] Moreover, if there is no difference in magnetic thickness M_s-tF1 of the 1st free magnetic layer 73, and magnetic thickness M_s-tF2 of the 2nd free magnetic layer 71 to some extent, even if it will be hard to be in a ferry condition and the difference of magnetic thickness M_s-tF1 of the 1st free magnetic layer 73 and magnetic thickness M_s-tF2 of the 2nd free magnetic layer 71 becomes large too much, it leads to the fall of a switched connection field and is not desirable [a magnetization condition]. So, as for (magnetic thickness M_s-tF1 of 1st free magnetic layer 73)/(magnetic thickness M_s-tF2 of the 2nd free magnetic layer 71), in this invention, it is desirable like the thickness ratio of the thickness tF1 of the 1st free magnetic layer 73, and the thickness tF2 of the 2nd free magnetic layer 71 that it is within the limits of 0.56 to 0.83, or 1.25-5. Moreover, it is more desirable that (magnetic thickness M_s-tF1 of 1st free magnetic layer 73)/(magnetic thickness M_s-tF2 of the 2nd free magnetic layer 71) is within the limits of 0.61 to 0.83, or 1.25-2.1 in this invention.

[0161] Moreover, as for the nonmagnetic interlayer 72 who intervenes in this invention between the 1st free magnetic layer 73 and the 2nd free magnetic layer 71, it is desirable to be formed with one sort or two sorts or more of alloys among Ru, Rh, Ir, Cr, Re, and Cu. As for said nonmagnetic interlayer's 72 thickness, it is still more desirable that it is within the limits of 5.5-10.0Å. If it is this within the limits, it is possible to acquire the switched connection field more than 500 (Oe). Moreover, as for said nonmagnetic interlayer's 72 thickness, it is more desirable that it is within the limits of 5.9-9.4Å. If it is this within the limits, the switched connection field more than 1000 (Oe) can be acquired. In addition, if the thickness ratio of the 1st free magnetic

layer 73 and the 2nd free magnetic layer 71 and the nonmagnetic interlayer's 72 thickness are further adjusted proper within the thickness of the thickness ratio of the 1st fixed magnetic layer 79 and the 2nd fixed magnetic layer 77, the nonmagnetic interlayer 78, and the antiferromagnetism layer 80, and limits mentioned above, it is possible to obtain ΔMR (resistance rate of change) comparable as the former.

[0162] Next, the approach of heat treatment is explained. Temporarily, when M_s-tP1 of the 1st fixed magnetic layer 79 is larger than M_s-tP2 of the 2nd fixed magnetic layer 77, it should just give the field of 100-1k (Oe), or 5k (Oe) in the direction to turn magnetization of said 1st fixed magnetic layer 79 to. Or when M_s-tP1 of the 1st fixed magnetic layer 79 is smaller than M_s-tP2 of the 2nd fixed magnetic layer 77, it can give the field more than 5k (Oe) in a direction to turn magnetization of said 1st fixed magnetic layer 79 to, and the direction which wants to turn magnetization of 100-1k (Oe), or said 1st fixed magnetic layer 79 to an opposite direction, and its $**$ is good. In this invention, magnetization of said 1st fixed magnetic layer 79 is fixed in the direction of illustration Y, and magnetization of said 2nd fixed magnetic layer 77 is being fixed to the direction of illustration Y, and the opposite direction. Or magnetization of said 1st fixed magnetic layer 79 is fixed to the direction of illustration Y, and an opposite direction, and magnetization of said 2nd fixed magnetic layer 77 is being fixed in the direction of illustration Y.

[0163] Moreover, when a positive direction, the direction of illustration X, an opposite direction and the direction of illustration Y, and an opposite direction are made into a negative direction for the direction of illustration X, and the direction of illustration Y in this invention, The so-called absolute value of the synthetic magnetic moment which added M_s-tF1 of the 1st free magnetic layer 73, and M_s-tF2 of the 2nd free magnetic layer 71 The larger one than the absolute value of the synthetic magnetic moment which added M_s-tP1 of the 1st fixed magnetic layer 79 and M_s-tP2 of the 2nd fixed magnetic layer 77 is desirable. namely, $**(M_s-tF1+M_s-tF2)/(M_s-tP1+M_s-tP2) **$ — it is desirable that it is >1 .

[0164] The absolute value of the synthetic magnetic moment of the 1st free magnetic layer 73 and the 2nd free magnetic layer 71 by making it larger than the absolute value of the synthetic magnetic moment of the 1st fixed magnetic layer 79 and the 2nd fixed magnetic layer 77 Magnetization of said 1st free magnetic layer 79 and the 2nd free magnetic layer 77 It is hard coming to win popularity the effect of the synthetic magnetic moment of the 1st fixed magnetic layer 79 and the 2nd fixed magnetic layer 77, and to an external magnetic field, magnetization of said 1st free magnetic layer 73 and the 2nd free magnetic layer 71 is highly sensitive, and rotates, and it becomes possible to raise an output.

[0165] Drawing 11 is a cross-sectional view showing the structure of the spin bulb mold thin film of the 6th operation gestalt of this invention, and drawing 12 is the sectional view which looked at the spin bulb mold thin film shown in drawing 11 from the opposed face side with a record medium. Focusing on the free magnetic layer, this spin bulb mold thin film is that dual spin bulb mold thin film to which the laminating of a nonmagnetic conductive layer, a fixed magnetic layer, and the antiferromagnetism layer was carried out up and down, and said free magnetic layer and a fixed magnetic layer are divided by two-layer through a nonmagnetic interlayer, and it is formed.

[0166] The layer currently formed in the drawing 11 and bottom side shown in 12 It is the substrate layer 91. On this substrate layer 91 The antiferromagnetism layer 92, the 1st fixed magnetic layer (below) 93, the nonmagnetic interlayer 94 (below), The 2nd fixed magnetic layer 95, the nonmagnetic conductive layer 96, the 2nd free magnetic layer 97, the nonmagnetic interlayer 100, the 1st free magnetic layer 101, the nonmagnetic conductive layer 104, the 2nd fixed magnetic layer (above) 105, the nonmagnetic interlayer (above) 106, the 1st fixed magnetic layer (above) 107, the antiferromagnetism layer 108, (Below) And the protective layer 109 is formed.

[0167] The quality of the material is explained first. As for the antiferromagnetism layer 92,108, being formed with the PtMn alloy is desirable. Compared with a NiMn alloy, a FeMn alloy, etc. which are used as an antiferromagnetism layer from the former, it excels in corrosion resistance, and moreover, a PtMn alloy has high blocking temperature and its switched connection field (exchange anisotropy field) is also large. Moreover, in this invention, it may replace with said PtMn alloy and a X-Mn (however, X is one-sort [any] or two sorts or more of elements of Pd,

Ir, Rh, and Ru) alloy or a Pt-Mn-X' (however, X' is one-sort [any] or two sorts or more of elements of Pd, Ir, Rh, Ru, Au, and Ag) alloy may be used.

[0168] The 1st fixed magnetic layer (below) 93 and 107 (above) and the 2nd fixed magnetic layer (below) 95 and 105 (above) are formed with Co film, the NiFe alloy, the CoFe alloy, or the CoNiFe alloy. The nonmagnetic interlayer 100 currently formed between the 1st fixed magnetic layer (below) 93 and 107 (above), the 2nd fixed magnetic layer (below) 95, the nonmagnetic interlayers (below) 94 and 106 (above) currently formed among 105 (above), and the 1st free magnetic layer 101 and the 2nd free magnetic layer 97. Moreover, Ru, It is desirable to be formed with one sort or two sorts or more of alloys among Rh, Ir, Cr, Re, and Cu. Furthermore, the nonmagnetic conductive layer 96,104 is formed by Cu etc.

[0169] As shown in drawing 11, the 1st free magnetic layer 101 and the 2nd free magnetic layer 97 are formed by two-layer. The layer 98 of the layer 103 of the 1st free magnetic layer 101 formed in the side which touches the nonmagnetic conductive layer 96,104, and the 2nd free magnetic layer 97 is formed by Co film. Moreover, the layer 99 of the layer 102 of the 1st free magnetic layer 101 currently formed through the nonmagnetic interlayer 100 and the 2nd free magnetic layer 97 is formed with for example, the NiFe alloy, the CoFe alloy, or the CoNiFe alloy. By forming the layer 98,103 which touches the nonmagnetic conductive layer 96,104 side by Co film, deltaMR can be enlarged and, moreover, diffusion with the nonmagnetic conductive layer 96,104 can be prevented.

[0170] Next, the proper range of the thickness of each class is explained. The thickness tP1 of the 1st fixed magnetic layer (below) 93 currently first formed in the free magnetic layer bottom, The thickness ratio of the thickness tP1 of the 1st fixed magnetic layer (above) 107 and the thickness tP2 of the 2nd fixed magnetic layer (above) 105 which are formed in a thickness ratio with the thickness tP2 of the 2nd fixed magnetic layer (below) 95 and the free magnetic layer bottom (Thickness tP1 of 1st fixed magnetic layer (below) 93 and 107 (above))/(thickness tP2 of the 2nd fixed magnetic layer (below) 95 and 105 (above)) It is desirable that it is within the limits of 0.33 to 0.95, or 1.05-4. And the thickness of the 1st fixed magnetic layer (below) 93 and 107 (above) and the 2nd fixed magnetic layer (below) 95 and 105 (above) it both forms within the limits of 10-70Å -- having -- and ** -- thickness tP1- of the 1st fixed magnetic layer (below) 93 and 107 (above) -- thickness tP2** of the 2nd fixed magnetic layer (below) 95 and 105 (above) -- being formed by ≥ 2 Å is desirable. The above-mentioned thing for which the switched connection field more than 500 (Oe) will be acquired if it is within the limits is possible.

[0171] In this invention, moreover, (thickness tP1 of 1st fixed magnetic layer (below) 93 and 107 (above))/(thickness tP2 of the 2nd fixed magnetic layer (below) 95 and 105 (above)) It is desirable that it is within the limits of 0.53 to 0.95, or 1.05-1.8. And the thickness of the 1st fixed magnetic layer (below) 93 and 107 (above) and the 2nd fixed magnetic layer (below) 95 and 105 (above) it both forms within the limits of 10-50Å -- having -- and ** -- thickness tP1- of the 1st fixed magnetic layer (below) 93 and 107 (above) -- thickness tP2** of the 2nd fixed magnetic layer (below) 95 and 105 (above) -- being formed by ≥ 2 Å is desirable. The above-mentioned thing for which the switched connection field more than 1000 (Oe) will be acquired if it is within the limits is possible.

[0172] By the way, in this invention, as mentioned above, in order to generate a switched connection field (exchange anisotropy field) as an antiferromagnetism layer 92,108 in an interface with the 1st fixed magnetic layer (below) 93 and 107 (above), such as a PtMn alloy, the antiferromagnetism ingredient which needs heat treatment is used. However, in the interface of the antiferromagnetism layer 92 and the 1st fixed magnetic layer (below) 93 which are formed below the free magnetic layer, since the thermal diffusion layer has become is easy to be formed that it is easy to generate diffusion of a metallic element, the magnetic thickness which functions as said 1st fixed magnetic layer (below) 93 is thinner than the actual thickness tP1. Therefore, in order to make almost equal the switched connection field generated in the cascade screen above a free magnetic layer, and the switched connection field generated from a lower cascade screen it is formed below a free magnetic layer -- **** (thickness tP2 of the fixed magnetic layer (below) 95 of thickness tP1/2nd of the 1st fixed magnetic layer (below) 93) -- It is formed above the free magnetic layer (the larger one than the thickness tP2 of the fixed magnetic layer (above) 105 of thickness tP1/2nd of the 1st fixed magnetic layer (above) 107 is

desirable.). By making equal the switched connection field generated from the cascade screen above a free magnetic layer, and the switched connection field generated from a lower cascade screen, there can be little manufacture process degradation of said switched connection field, and can raise the dependability of the magnetic head.

[0173] If there is no difference in magnetic thickness M_s - t_{P1} of the 1st fixed magnetic layer (below) 93 and 107 (above), and magnetic thickness M_s - t_{P2} of the 2nd fixed magnetic layer (below) 95 and 105 (above) to some extent as mentioned above A magnetization condition leads to the fall of a switched connection field and is not desirable, even if it will be hard to be in a ferry condition and the difference of magnetic thickness M_s - t_{P1} of the 1st fixed magnetic layer (below) 93 and 107 (above) and magnetic thickness M_s - t_{P2} of the 2nd fixed magnetic layer (below) 95 and 105 (above) becomes large too much. so, in this invention, like the thickness ratio of the thickness t_{P1} of the 1st fixed magnetic layer (below) 93 and 107 (above), and the thickness t_{P2} of the 2nd fixed magnetic layer (below) 95 and 105 (above) As for (magnetic thickness M_s - t_{P1} of 1st fixed magnetic layer (below) 93 and 107 (above))/(magnetic thickness M_s - t_{P2} of the 2nd fixed magnetic layer (below) 95 and 105 (above)), it is desirable that it is within the limits of 0.33 to 0.95, or 1.05-4. In this invention, magnetic thickness M_s - t_{P1} of the 1st fixed magnetic layer (below) 93 and 107 (above) and magnetic thickness M_s - t_{P2} of the 2nd fixed magnetic layer (below) 95 and 105 (above) moreover, within the limits of 10-70 (angstrom tesla) And it is desirable that the absolute value which lengthened magnetic thickness M_s - t_{P2} of the 2nd fixed magnetic layer (below) 95 and 105 (above) from magnetic thickness M_s - t_{P1} of the 1st fixed magnetic layer (below) 93 and 107 (above) is more than two (angstrom tesla).

[0174] Moreover (magnetic thickness M_s - t_{P1} of the 1st fixed magnetic layer (below) 93 and 107 (above)), it is more desirable that / (magnetic thickness M_s - t_{P2} of the 2nd fixed magnetic layer (below) 95 and 105 (above)) is within the limits of 0.53 to 0.95, or 1.05-1.8. Moreover, it is [above-mentioned] within the limits, and both magnetic thickness M_s - t_{P1} of the 1st fixed magnetic layer (below) 93 and 107 (above) and magnetic thickness M_s - t_{P2} of the 2nd fixed magnetic layer (below) 95 and 105 (above) are within the limits of 10-50 (angstrom tesla). And as for the absolute value which lengthened magnetic thickness M_s - t_{P2} of the 2nd fixed magnetic layer (below) 95 and 105 (above) from magnetic thickness M_s - t_{P1} of the 1st fixed magnetic layer (below) 93 and 107 (above), it is desirable that it is more than two (angstrom tesla).

[0175] Moreover, as for the thickness of the nonmagnetic interlayer (below) 94 who intervenes in this invention between the 1st fixed magnetic layer (below) 93 currently formed below the free magnetic layer, and the 2nd fixed magnetic layer (below) 95; it is desirable that it is within the limits of 3.6-9.6Å. If it is this within the limits, the switched connection field more than 500 (Oe) can be acquired. More preferably, if it is within the limits of 4-9.4Å and is this within the limits, it is possible to acquire the switched connection field more than 1000 (Oe). Moreover, as for the thickness of the nonmagnetic interlayer (above) 106 who intervenes between the 1st fixed magnetic layer (above) 107 and the 2nd fixed magnetic layer (above) 105 which are formed above the free magnetic layer, it is desirable that it is within the limits of 2.5-6.4Å or 6.6-10.7Å. It is possible to acquire the switched connection field more than at least 500 (Oe) as it is this within the limits. Moreover, it is more desirable that it is within the limits of 2.8-6.2Å or 6.8-10.3Å, and if it is this within the limits, the switched connection field more than 1000 (Oe) can be acquired.

[0176] Furthermore, by this invention, as for the thickness of the antiferromagnetism layer 92,108, it is desirable that it is 100Å or more, and it can acquire the switched connection field more than at least 500 (Oe) by forming said antiferromagnetism layer 92,108 by 100Å or more. Moreover, in this invention, if the thickness of said antiferromagnetism layer 92,108 is formed by 110Å or more, the switched connection field more than at least 1000 (Oe) can be acquired.

[0177] Moreover, when thickness of the 1st free magnetic layer 101 is set to t_{F1} and thickness of the 2nd free magnetic layer 97 is set to t_{F2} in this invention, as for (the thickness t_{F2} of the free magnetic layer 97 of thickness t_{F1} /2nd of the 1st free magnetic layer 101), it is desirable that it is within the limits of 0.56 to 0.83, or 1.25-5. It is possible to acquire the switched connection field more than 500 (Oe) as it is this within the limits. Moreover, the above (thickness of the 1st free magnetic layer / thickness of the 2nd free magnetic layer) can acquire the switched connection field more than 1000 (Oe) as it is more desirable that it is within the limits of 0.61 to 0.83, or 1.25-2.1 and it is this within the limits.

[0178] Moreover, if there is no difference in magnetic thickness M_s - t_{F1} of the 1st free magnetic layer 101, and magnetic thickness M_s - t_{F2} of the 2nd free magnetic layer 97 to some extent, even if it will be hard to be in a ferry condition and the difference of magnetic thickness M_s - t_{F1} of the 1st free magnetic layer 101 and magnetic thickness M_s - t_{F2} of the 2nd free magnetic layer 97 becomes large too much, it leads to the fall of a switched connection field and is not desirable [a magnetization condition]. So, as for (magnetic thickness M_s - t_{F1} of 1st free magnetic layer 101)/(magnetic thickness M_s - t_{F2} of the 2nd free magnetic layer 97), in this invention, it is desirable like the thickness ratio of the thickness t_{F1} of the 1st free magnetic layer 101, and the thickness t_{F2} of the 2nd free magnetic layer 97 that it is within the limits of 0.56 to 0.83, or 1.25-5. Moreover, it is more desirable that (magnetic thickness M_s - t_{F1} of 1st free magnetic layer 101)/(magnetic thickness M_s - t_{F2} of the 2nd free magnetic layer 97) is within the limits of 0.61 to 0.83, or 1.25-2.1 in this invention.

[0179] Moreover, as for the nonmagnetic interlayer 100 who intervenes between the 1st free magnetic layer 101 and the 2nd free magnetic layer 97, it is desirable that that thickness is formed within the limits of 5.5-10.0Å, and he can acquire the switched connection field more than 500 (Oe) as it is this within the limits. Moreover, said nonmagnetic interlayer's 100 thickness can acquire the switched connection field more than 1000 (Oe) as it is more desirable that it is within the limits of 5.9-9.4Å and it is this within the limits.

[0180] In this invention, in addition, the thickness ratio of the 1st fixed magnetic layer (below) 93 and 107 (above) and the 2nd fixed magnetic layer (below) 95 and 105 (above), The thickness of the 1st fixed magnetic layer (below) 93 and 107 (above), the 2nd fixed magnetic layer (below) 95 and 105 (above), the nonmagnetic interlayers (below) 94 and 106 (above), and the antiferromagnetism layer 92,108, Furthermore, if it is within the limits and the thickness ratio of the 1st free magnetic layer 101 and the 2nd free magnetic layer 97 and the nonmagnetic interlayer's 100 thickness are adjusted [above-mentioned] proper, it is possible to obtain ΔMR comparable as the former.

[0181] By the way, in drawing 11 and the dual spin bulb mold thin film shown in 12, it is necessary to turn mutually to an opposite direction magnetization of the 2nd fixed magnetic layer (below) 95 and 105 (above) in which the free magnetic layer is formed up and down. This is because the free magnetic layer is divided and formed in two-layer [of the 1st free magnetic layer 101 and the 2nd free magnetic layer 97] and magnetization of said 1st free magnetic layer 101 and magnetization of the 2nd free magnetic layer 97 have become anti-parallel. For example, as shown in drawing 11 and 12, supposing magnetization of the 1st free magnetic layer 101 is magnetized by the direction of illustration X, and the opposite direction, magnetization of the 2nd free magnetic layer 97 is in the condition of having been magnetized in the direction of illustration X, by the switched connection field (RKKY interaction) with said 1st free magnetic layer 101. Magnetization of said 1st free magnetic layer 101 and the 2nd free magnetic layer 97 is reversed in response to the effect of an external magnetic field, maintaining a ferry condition.

[0182] If it is in the dual spin bulb mold thin film shown in drawing 11 and drawing 12, both magnetization of the 1st free magnetic layer 101 and magnetization of the 2nd free magnetic layer 97 serve as a layer which participates in ΔMR , and electric resistance changes by the relation between fluctuation magnetization of said 1st free magnetic layer 101 and the 2nd free magnetic layer 97, and fixed magnetization of the 2nd fixed magnetic layer (below) 95 and 105 (above). In order to demonstrate the function as a dual spin bulb mold thin film in which large ΔMR is expectable compared with a single spin bulb mold thin film Resistance change with the 1st free magnetic layer 101 and the 2nd fixed magnetic layer (above) 105 and resistance change with the 2nd free magnetic layer 97 and the 2nd fixed magnetic layer (below) 95 so that the same fluctuation may both be shown There is the need of controlling the magnetization direction of said 2nd fixed magnetic layer (below) 95 and 105 (above). Namely, when resistance change with the 1st free magnetic layer 101 and the 2nd fixed magnetic layer (above) 105 becomes max, When it is made for resistance change with the 2nd free magnetic layer 97 and the 2nd fixed magnetic layer (below) 95 to also become max and resistance change with the 1st free magnetic layer 101 and the 2nd fixed magnetic layer (above) 105 becomes min, What is necessary is just to make it resistance change with the 2nd free magnetic layer 97 and the 2nd fixed magnetic layer (below) 95 also become min.

[0183] Therefore, in drawing 11 and the dual spin bulb mold thin film shown in 12, since magnetization of the 1st free magnetic layer 101 and the 2nd free magnetic layer 97 is magnetized by anti-parallel, there is the need of magnetizing mutually magnetization of the 2nd fixed magnetic layer (above) 105 and magnetization of the 2nd fixed magnetic layer (below) 95 to an opposite direction. In this invention, since it is above, magnetization of the 2nd fixed magnetic layer (below) 95 and magnetization of the 2nd fixed magnetic layer (above) 105 are turned to an opposite direction, and it is fixing, but in order to control such a magnetization direction, it is necessary to adjust M_s -t of each fixed magnetic layer, the direction of the magnetic field given during heat treatment, and magnitude proper.

[0184] About M_s -t of each fixed magnetic layer, first M_s -tP1 of the 1st fixed magnetic layer (above) 107 currently formed above the free magnetic layer It is made larger than M_s -tP2 of the 2nd fixed magnetic layer (above) 105. M_s -tP1 of the 1st fixed magnetic layer (below) 93 currently formed below the free magnetic layer [whether it is made smaller than M_s -tP2 of the 2nd fixed magnetic layer (below) 95, and] Or M_s -tP1 of the 1st fixed magnetic layer (above) 107 currently formed above the free magnetic layer It is necessary to make larger than M_s -tP2 of the 2nd fixed magnetic layer (below) 95 M_s -tP1 of the 1st fixed magnetic layer (below) 93 which makes it smaller than M_s -tP2 of the 2nd fixed magnetic layer 105 (above), and is formed below the free magnetic layer.

[0185] In this invention, since the antiferromagnetism ingredient which generates a switched connection field in an interface with the 1st fixed magnetic layer (below) 93 and 107 (above) by giving annealing in a magnetic field (heat treatment), such as a PtMn alloy, as an antiferromagnetism layer 92,108 is used, the direction and magnitude of the magnetic field impressed during heat treatment must be adjusted proper. In this invention, M_s -tP1 of the 1st fixed magnetic layer (above) 107 currently formed above the free magnetic layer It is made larger than M_s -tP2 of the 2nd fixed magnetic layer (above) 105. If it is when it is made smaller than M_s -tP2 of the 2nd fixed magnetic layer (below) 95, M_s -tP1 of the 1st fixed magnetic layer (below) 93 currently formed below the free magnetic layer The field of 100-1k (Oe) is given in the direction to turn to magnetization of the 1st fixed magnetic layer (above) 107 currently formed above the free magnetic layer.

[0186] For example, the field of 100-1k (Oe) is given in the direction of illustration Y to turn magnetization of said 1st fixed magnetic layer (above) 107 in the direction of illustration Y, as shown in drawing 11 . Both the 1st [said] large fixed magnetic layer (above) 107 of M_s -tP1 and the 2nd fixed magnetic layer (below) 95 formed below the free magnetic layer are suitable in the direction of illustration Y, i.e., direction, of said impression magnetic field here. On the other hand, magnetization of the 2nd small fixed magnetic layer (above) 105 of M_s -tP2 formed above the free magnetic layer is magnetized by the magnetization direction of said 1st fixed magnetic layer (above) 107, and anti-parallel by the switched connection field (RKKY interaction) with the 1st fixed magnetic layer (above) 107. Magnetization of the 1st small fixed magnetic layer (below) 93 of M_s -tP1 similarly formed below the free magnetic layer tends to be in magnetization and ferry condition of the 2nd fixed magnetic layer (below) 95, and is magnetized by the direction of illustration Y, and the opposite direction. Magnetization of the 1st fixed magnetic layer (above) 107 formed above the free magnetic layer is fixed in the direction of illustration Y by the switched connection field (exchange anisotropy field) generated in an interface with the antiferromagnetism layer 108 by heat treatment, and magnetization of the 2nd fixed magnetic layer (above) 105 is fixed to the direction of illustration Y, and an opposite direction. Similarly, magnetization of the 1st fixed magnetic layer (below) 93 currently formed below the free magnetic layer is fixed to the direction of illustration Y, and an opposite direction by the switched connection field (exchange anisotropy field), and magnetization of the 2nd fixed magnetic layer (below) 95 is fixed in the direction of illustration Y.

[0187] Moreover, M_s -tP1 of the 1st fixed magnetic layer (above) 107 currently formed above the free magnetic layer It is made smaller than M_s -tP2 of the 2nd fixed magnetic layer (above) 105. When M_s -tP1 of the 1st fixed magnetic layer (below) 93 currently formed below the free magnetic layer is made larger than M_s -tP2 of the 2nd fixed magnetic layer (below) 95 k [100-/1] (Oe) Give a field in the direction to turn to magnetization of the 1st fixed magnetic layer (below) 93 formed below the free magnetic layer. deltaMR comparable as the conventional dual

spin bulb mold thin film can be obtained by magnetizing the 2nd fixed magnetic layer (below) 95 and 105 (above) in which the free magnetic layer was formed up and down as mentioned above to an opposite direction.

[0188] Moreover, in this invention, in order to enable it to be reversed with more sufficient sensibility to an external magnetic field, magnetization of the 1st free magnetic layer 101 of a ferry condition, and magnetization of the 2nd free magnetic layer 97 The synthetic magnetic moment which added the magnetic moment of the 1st free magnetic layer 101 and the magnetic moment of the 2nd free magnetic layer 97 The synthetic magnetic moment which added the magnetic moment of the 1st fixed magnetic layer (below) 93 and the magnetic moment of the 2nd fixed magnetic layer (below) 95 which are formed below said free magnetic layer, And what is necessary is just to make it become larger than the synthetic magnetic moment which added the magnetic moment of the 1st fixed magnetic layer (above) 107 and the magnetic moment of the 2nd fixed magnetic layer (above) 105 which are formed above the free magnetic layer. For example, the magnetic moment of the direction of illustration X, and the direction of illustration Y Namely, a forward value, When the magnetic moment of the direction of illustration X, an opposite direction and the direction of illustration Y, and an opposite direction is made into a negative value, synthetic magnetic-moment $Ms-tP1+Ms-tP2$ in which synthetic magnetic-moment $Ms-tF1+Ms-tF2$ is formed by the magnetic moment of the 1st fixed magnetic layer (above) 107 and the 2nd fixed magnetic layer (above) 105 -- and It is more desirable than synthetic magnetic-moment $Ms-tP1+Ms-tP2$ with the 1st fixed magnetic layer (below) 93 and the 2nd fixed magnetic layer (below) 95 that it is large. as mentioned above, in the spin bulb mold thin film shown in drawing 12 from drawing 7 Not only a fixed magnetic layer but a free magnetic layer is divided through a nonmagnetic interlayer to two-layer [of the 1st free magnetic layer and the 2nd free magnetic layer]. By changing magnetization of said two-layer free magnetic layer into an anti-parallel condition (ferry condition) by the switched connection field (RKKY interaction) generated between this two-layer free magnetic layer It enables it to reverse magnetization of said 1st free magnetic layer and the 2nd free magnetic layer with sufficient sensibility to an external magnetic field.

[0189] In this invention, moreover, the thickness ratio of the 1st free magnetic layer and the 2nd free magnetic layer, The thickness of the nonmagnetic interlayer who intervenes between said 1st free magnetic layer and the 2nd free magnetic layer, Or by forming the thickness of the nonmagnetic interlayer who intervenes between the thickness ratio of the 1st fixed magnetic layer and the 2nd fixed magnetic layer, and said 1st fixed magnetic layer and the 2nd fixed magnetic layer, the thickness of an antiferromagnetism layer, etc. within proper limits Can enlarge a switched connection field and the magnetization condition of the 1st fixed magnetic layer and the 2nd fixed magnetic layer is considered as fixed magnetization. It is possible to maintain at the ferry condition stabilized also thermally by considering the magnetization condition of the 1st free magnetic layer and the 2nd free magnetic layer as fluctuation magnetization, and it is possible to obtain deltaMR comparable as the former moreover. It is possible to maintain the anti-parallel condition (ferry condition) of magnetization of the 1st fixed magnetic layer and magnetization of the 2nd fixed magnetic layer at the condition of having been stabilized also more nearly thermally, by adjusting the direction of a sense current further by this invention.

[0190] In a spin bulb mold thin film, the conductive layer is formed in the both sides of the cascade screen which consists of an antiferromagnetism layer, a fixed magnetic layer, a nonmagnetic conductive layer, and a free magnetic layer, and a sense current is passed from this conductive layer. Said sense current mainly flows to the interface of said small nonmagnetic conductive layer of specific resistance, and said nonmagnetic conductive layer and fixed magnetic layer, and the interface of a nonmagnetic conductive layer and a free magnetic layer. In this invention, said fixed magnetic layer is divided by the 1st fixed magnetic layer and the 2nd fixed magnetic layer, and said sense current is mainly flowing to the interface of the 2nd fixed magnetic layer and a nonmagnetic conductive layer. If said sense current is passed, a sense current field will be formed by the principle of a right screw. In this invention, the direction which said sense current passes is adjusted so that it may become in the same direction as the direction of the synthetic magnetic moment which adds the magnetic moment of the 1st fixed

magnetic layer, and the magnetic moment of the 2nd fixed magnetic layer, and can search for said sense current field.

[0191] The 2nd fixed magnetic layer 54 is formed in the nonmagnetic conductive layer 15 bottom in the spin bulb mold thin film shown in drawing 1. In this case, if it is, the direction of a sense current field is doubled in the magnetization direction of a fixed magnetic layer with the larger magnetic moment among the 1st fixed magnetic layer 52 and the 2nd fixed magnetic layer 54. As shown in drawing 1, the magnetic moment of said 2nd fixed magnetic layer 54 is large compared with the magnetic moment of the 1st fixed magnetic layer 52, and the magnetic moment of said 2nd fixed magnetic layer 54 has turned to the direction of illustration Y, and the opposite direction (illustration left). For this reason, the synthetic magnetic moment which added the magnetic moment of said 1st fixed magnetic layer 52 and the magnetic moment of the 2nd fixed magnetic layer 54 has turned to the direction of illustration Y, and the opposite direction (illustration left).

[0192] As mentioned above, the nonmagnetic conductive layer 15 is formed in the 2nd fixed magnetic layer 54 and 1st fixed magnetic layer 52 bottom. For this reason, the sense current field formed of the sense current 112 which mainly flows focusing on said nonmagnetic conductive layer 15 should just control the direction which said sense current 112 passes suitable [leftward / illustration] in under surface than said nonmagnetic conductive layer 15. If it does in this way, the direction of the synthetic magnetic moment of the 1st fixed magnetic layer 52 and the 2nd fixed magnetic layer 54 and the direction of said sense current field are in agreement.

[0193] As shown in drawing 1, said sense current 112 is passed in the direction of illustration X. By the principle of a right screw, the sense current field formed by passing a sense current is formed in the clockwise direction to space. therefore, in the layer below the nonmagnetic conductive layer 15 The sense current field of the illustration left (the direction of illustration Y and opposite direction) will be impressed. By this sense current field The switched connection field (RKKY interaction) which acts in the direction which reinforces the synthetic magnetic moment, and acts between the 1st fixed magnetic layer 52 and the 2nd fixed magnetic layer 54 is amplified. It becomes possible to stabilize more nearly thermally the anti-parallel condition of magnetization of said 1st fixed magnetic layer 52, and magnetization of the 2nd fixed magnetic layer 54.

[0194] If 1mA especially of sense currents is passed, it turns out that the sense current field of about 30 (Oe) extent occurs, and a chip temperature rises by about 15 degrees C. Furthermore, the rotational frequency of a record medium becomes quick to 1000rpm extent, and the temperature in equipment rises to about 100 degrees C by the rise of this rotational frequency. For this reason, when 10mA of sense currents is passed; for example, the chip temperature of a spin bulb mold thin film rises to about 250 degrees C, and becomes as large [a sense current field] as 300 (Oe) further.

[0195] The anti-parallel condition of magnetization of the 1st fixed magnetic layer 52 and magnetization of the 2nd fixed magnetic layer 54 becomes it easy to break that the direction of the synthetic magnetic moment which adds the magnetic moment of the 1st fixed magnetic layer 52 and the 2nd fixed magnetic layer 54, and can ask for them under such very high environmental temperature if it is when a sense current big moreover flows, and the direction of a sense current field are reverse sense. Moreover, in order to enable it to bear also under high environmental temperature, it is necessary besides accommodation of the direction of a sense current field to use the antiferromagnetism ingredient which has high blocking temperature as an antiferromagnetism layer 11, therefore the PtMn alloy whose blocking temperature is about 400 degrees C is used in this invention.

[0196] In addition, when the synthetic magnetic moment formed by the magnetic moment of the 1st fixed magnetic layer 52 and the magnetic moment of the 2nd fixed magnetic layer 54 which are shown in drawing 1 is suitable rightward [illustration] (the direction of illustration Y), a sink and a sense current field should just be formed in the direction of illustration X, and an opposite direction in the counterclockwise direction to space in a sense current.

[0197] Next, the direction of a sense current of the spin bulb mold thin film shown in drawing 3 is explained. In drawing 3, the 2nd fixed magnetic layer 25 and the 1st fixed magnetic layer 27 are

formed in the nonmagnetic conductive layer 24 bottom. As shown in drawing 3, the direction of the magnetic moment of the 1st fixed magnetic layer 27 is larger than the magnetic moment of the 2nd fixed magnetic layer 25, and, as for the direction of the magnetic moment of said 1st fixed magnetic layer 27, the direction (illustration right) of illustration Y is turned to. For this reason, the synthetic magnetic moment which added the magnetic moment of said 1st fixed magnetic layer 27 and the magnetic moment of the 2nd fixed magnetic layer 25 has turned to the illustration right.

[0198] As shown in drawing 3, the sense current 113 is passed in the direction of illustration X. By the principle of a right screw, the sense current field formed by passing the sense current 113 is formed in the clockwise direction to space. Since the 2nd fixed magnetic layer 25 and the 1st fixed magnetic layer 27 are formed above the nonmagnetic conductive layer 24, to said 2nd fixed magnetic layer 25 and the 1st fixed magnetic layer 27 The sense current field of the illustration right (the direction of illustration Y and opposite direction) will invade, and the anti-parallel condition of magnetization of the 1st fixed magnetic layer 27 and magnetization of the 2nd fixed magnetic layer 25 has stopped being able to break easily in accordance with the direction of the synthetic magnetic moment therefore.

[0199] In addition, when said synthetic magnetic moment is suitable leftward [illustration] (the direction of illustration Y, and opposite direction), the sense current field formed in the direction of illustration X and an opposite direction by passing a sink and said sense current 113 in the sense current 113 is generated in the counterclockwise direction to space, and it is necessary to make in agreement the sense of the synthetic magnetic moment of the 1st fixed magnetic layer 27 and the 2nd fixed magnetic layer 25, and the sense with said sense current field.

[0200] The spin bulb mold thin film shown in drawing 5 is a dual spin bulb mold thin film of the free magnetic layer 36 in which the 1st fixed magnetic layer (below) 32 and 43 (above) and the 2nd fixed magnetic layer (below) 34 and 41 (above) were formed up and down. It is necessary by this dual spin bulb mold thin film to control the direction of the magnetic moment of said 1st fixed magnetic layer (below) 32 and 43 (above), the direction of the magnetic moment of that magnitude and the 2nd fixed magnetic layer (below) 34 and 41 (above), and its magnitude so that the synthetic magnetic moment in which the free magnetic layer 36 is formed up and down turns to an opposite direction mutually.

[0201] As shown in drawing 5, the magnetic moment of the 2nd fixed magnetic layer (below) 34 currently formed below the free magnetic layer 36 is larger than the magnetic moment of the 1st fixed magnetic layer (below) 32, and the magnetic moment of said 2nd fixed magnetic layer (below) 34 has turned to the illustration right (the direction of illustration Y). Therefore, the synthetic magnetic moment which adds the magnetic moment of said 1st fixed magnetic layer (below) 32 and the magnetic moment of the 2nd fixed magnetic layer (below) 34, and can search for them has turned to the illustration right (the direction of illustration Y). Moreover, the magnetic moment of the 1st fixed magnetic layer (above) 43 currently formed above the free magnetic layer 36 is larger than the magnetic moment of the 2nd fixed magnetic layer (above) 41, and the magnetic moment of said 1st fixed magnetic layer (above) 43 is suitable leftward [illustration] (the direction of illustration Y, and opposite direction). For this reason, the synthetic magnetic moment which adds the magnetic moment of said 1st fixed magnetic layer (above) 43 and the magnetic moment of the 2nd fixed magnetic layer (above) 41, and can search for them has turned to the illustration left (the direction of illustration Y, and opposite direction). Thus, in this invention, the synthetic magnetic moment in which the free magnetic layer 36 is formed up and down has turned to the opposite direction mutually. In this invention, as shown in drawing 5, the sense current 114 is passed in the direction of illustration X, and an opposite direction. The sense current field formed by this passing said sense current 114 is formed in the counterclockwise direction to space.

[0202] Since the synthetic magnetic moment by which the synthetic magnetic moment formed below said free magnetic layer 36 was formed rightward [illustration] (the direction of illustration Y) above the free magnetic layer 36 is suitable leftward [illustration] (the direction of illustration Y, and opposite direction) The direction of said two synthetic magnetic moments is in agreement with the direction of a sense current field. The anti-parallel condition of magnetization of the 1st fixed magnetic layer (below) 32, and magnetization of the 2nd fixed

magnetic layer (below) 34 formed in the free magnetic layer 36 bottom, And it is possible to maintain the anti-parallel condition of magnetization of the 1st fixed magnetic layer (above) 43 and magnetization of the 2nd fixed magnetic layer (above) 41 formed in the free magnetic layer 36 bottom in the condition of having been stabilized also thermally. In addition, when the synthetic magnetic moment formed below the free magnetic layer 36 is suitable leftward [illustration] and the synthetic magnetic moment formed above the free magnetic layer 36 has turned to illustration right-hand side; it is necessary to make in agreement the direction of the sense current field formed in the direction of illustration X by passing a sink and said sense current in the sense current 114, and the direction of said synthetic magnetic moment.

[0203] Moreover, although it is the example of the spin bulb mold thin film by which the free magnetic layer was divided and formed in two-layer [of the 1st free magnetic layer and the 2nd free magnetic layer] through the nonmagnetic interlayer in drawing 7 and drawing 9 What is necessary is just to control the same direction of a sense current as the case of the spin bulb mold thin film shown in drawing 1 , if it is like the spin bulb mold thin film shown in drawing 7 when the 1st fixed magnetic layer 52 and the 2nd fixed magnetic layer 54 are formed below the nonmagnetic conductive layer 55. Moreover, what is necessary is just to control the same direction of a sense current as the case of the spin bulb mold thin film shown in drawing 3 , if it is like the spin bulb mold thin film shown in drawing 9 when the 1st fixed magnetic layer 79 and the 2nd fixed magnetic layer 77 are formed above the nonmagnetic conductive layer 76.

[0204] The direction of the sense current field which is formed by passing a sense current as mentioned above according to this invention, By making in agreement the direction of the synthetic magnetic moment which can be searched for by adding the magnetic moment of the 1st fixed magnetic layer, and the magnetic moment of the 2nd fixed magnetic layer It is possible to make the switched connection field (RKKY interaction) which acts between said 1st fixed magnetic layer and the 2nd fixed magnetic layer amplify, and to maintain the anti-parallel condition (ferry condition) of magnetization of said 1st fixed magnetic layer and magnetization of the 2nd fixed magnetic layer at the condition of having been stabilized thermally. In order especially to raise thermal stability more by this invention, even if it is using the antiferromagnetism ingredient with high blocking temperature, such as a PtMn alloy, for an antiferromagnetism layer and environmental temperature rises sharply by this compared with the former, it can be made hard to break the anti-parallel condition (ferry condition) of magnetization of said 1st fixed magnetic layer, and magnetization of the 2nd fixed magnetic layer.

[0205] Moreover, although a sense current field will also become large according to it if the amount of sense currents tends to be enlarged and it is going to enlarge a playback output since it corresponds to high recording density-ization In this invention, since said sense current field has brought about the operation which makes the switched connection field committed between the 1st fixed magnetic layer and the 2nd fixed magnetic layer amplify, the magnetization condition of the 1st fixed magnetic layer and the 2nd fixed magnetic layer becomes what was stabilized more according to increase of a sense current field. In addition, in order to be able to apply it even if control of this direction of a sense current is the case where what kind of antiferromagnetism ingredient is used for an antiferromagnetism layer, for example, to generate a switched connection field (exchange anisotropy field) in the interface of an antiferromagnetism layer and a fixed magnetic layer (1st fixed magnetic layer), it does not ask whether heat treatment is required or it is not required.

[0206] Furthermore, like before, even if it is the case of the single spin bulb mold thin film in which the fixed magnetic layer was formed by the monolayer, it is possible to stabilize magnetization of said fixed magnetic layer thermally by making in agreement the direction of the sense current field formed by passing the sense current mentioned above, and the magnetization direction of a fixed magnetic layer.

[0207]

[Example] In this invention, the spin bulb mold thin film which divided and formed the fixed magnetic layer in two-layer [of the 1st fixed magnetic layer and the 2nd fixed magnetic layer] through the nonmagnetic middle class was used first, and it measured about the relation between the thickness ratio of said 1st fixed magnetic layer and the 2nd fixed magnetic layer, and a switched connection field (Hex) and deltaMR (resistance rate of change). First, the 1st fixed

magnetic layer (fixed magnetic layer of the side which touches an antiferromagnetism layer) was fixed to 20Å or 40Å, the thickness of the 2nd fixed magnetic layer was changed, and it investigated about the relation between the thickness of said 2nd fixed magnetic layer, and a switched connection field and ΔMR . The film configuration used for the experiment is as follows. Si substrate / alumina / Ta(30) / antiferromagnetism layer ; PtMn (150) / fixed magnetic layer [of t_{P1} a 1st]; — Co (20 or 40) / nonmagnetic interlayer; — Ru (7) / fixed magnetic layer [of t_{P2} a 2nd]; — Co(X) / nonmagnetic conductive layer; — Cu(25) / free magnetic layer; — they are Co(10)+NiFe(40) / Ta (30). In addition, the numeric value in the parenthesis in each class shows thickness, and a unit is angstrom.

[0208] Moreover, by this invention, after forming the above-mentioned spin bulb mold thin film, heat treatment of 4 hours was performed at 260 degrees C, impressing the magnetic field of 200 (Oe). The experimental result is shown in drawing 14 and drawing 15. As shown in drawing 14, when the thickness t_{P1} of the 1st fixed magnetic layer (P1) is fixed by 20Å and thickness t_{P2} of the 2nd fixed magnetic layer (P2) is made into 20Å, as for a switched connection field (Hex), by falling and thickening said thickness t_{P2} shows rapidly that said switched connection field falls gradually. Moreover, when the thickness t_{P1} of said 1st fixed magnetic layer (P1) is fixed by 40Å, if thickness t_{P2} of the 2nd fixed magnetic layer (P2) is made into 40Å, a switched connection field will fall rapidly, and when said thickness t_{P2} is made larger than 40Å, it turns out gradually that a switched connection field falls. Moreover, if said thickness t_{P2} is made smaller than 40Å, a switched connection field will become large to about 26Å, but when said thickness t_{P2} is made smaller than 26Å, it turns out that a switched connection field becomes small.

[0209] If the thickness t_{P1} of the 1st fixed magnetic layer (P1) and the thickness t_{P2} of the 2nd fixed magnetic layer (P2) are formed by the almost same thickness, that by the way, a switched connection field falls rapidly. It is surmised that it is because magnetization of said 1st fixed magnetic layer (P1) and magnetization of the 2nd fixed magnetic layer (P2) cannot be in the so-called ferry condition which is not mutually magnetized by anti-parallel easily.

[0210] Since both the 1st fixed magnetic layer (P1) and the 2nd fixed magnetic layer (P2) are formed by Co film as shown in the film configuration mentioned above, it has the same saturation magnetization (M_s). By being formed by the further almost same thickness, the magnetic moment ($M_s \cdot t_{P1}$) of the 1st fixed magnetic layer (P1) and the magnetic moment ($M_s \cdot t_{P2}$) of the 2nd fixed magnetic layer (P2) are set up with the almost same value. In this invention, since the PtMn alloy is used for an antiferromagnetism layer, by giving annealing in an after [membrane formation] magnetic field, a switched connection field is generated in an interface with the 1st fixed magnetic layer (P1), and it is going to fix said 1st fixed magnetic layer (P1) in a certain fixed direction.

[0211] However, when the magnetic moment of the 1st fixed magnetic layer (P1) and the 2nd fixed magnetic layer (P2) heat-treats by impressing a magnetic field as it is the almost same value, said 1st fixed magnetic layer (P1) and the 2nd fixed magnetic layer (P2) consider as the other side in both the directions of a magnetic field. Although a switched connection field (RKKY interaction) occurs between the 1st fixed magnetic layer (P1) and the 2nd fixed magnetic layer (P2) and magnetization of said 1st fixed magnetic layer (P1) and magnetization of the 2nd fixed magnetic layer (P2) tend to be magnetized by the anti-parallel condition (ferry condition) if it is original. In order that magnetization of the 1st fixed magnetic layer (P1) and the 2nd fixed magnetic layer (P2) may consider as the other side in the direction of a magnetic field mutually, an anti-parallel condition is hard to be magnetized and the magnetization condition of the 1st fixed magnetic layer (P1) and the 2nd fixed magnetic layer (P2) is in the very unstable condition to the external magnetic field etc.

[0212] For this reason, although it is desirable to give the difference of the magnetic moment of the 1st fixed magnetic layer (P1) and the magnetic moment of the 2nd fixed magnetic layer (P2) to some extent, as shown in drawing 14. If the difference of the thickness t_{P1} of the 1st fixed magnetic layer (P1) and the thickness t_{P2} of the 2nd fixed magnetic layer (P2) becomes large too much and there is a difference of the magnetic moment of the 1st fixed magnetic layer (P1) and the 2nd fixed magnetic layer (P2) too much. A switched connection field falls and there is a problem that an anti-parallel condition tends to collapse.

[0213] Drawing 16 and 17 are the graphs showing the relation between the thickness t_{P1} of said

1st fixed magnetic layer when fixing the thickness tP2 of the 2nd fixed magnetic layer (P2) by 30A, and changing the thickness tP1 of the 1st fixed magnetic layer (P1), a switched connection field (Hex), and deltaMR. The film configuration of the spin bulb mold thin film used in this experiment is as follows. Si substrate / alumina / Ta(30) / PtMn(150)/— fixed magnetic layer [of ** a 1st]; — Co(X) / nonmagnetic interlayer; — Ru (7) / fixed magnetic layer [of ** a 2nd]; — Co(30) / nonmagnetic conductive layer; — Cu(25) / free magnetic layer; — they are Co(10)+NiFe(40) / Ta (30). In addition, the numeric value in the parenthesis in each class shows thickness, and a unit is angstrom. Moreover, by this invention, after forming the above-mentioned spin bulb mold thin film, heat treatment of 4 hours was performed at 260 degrees C, impressing the magnetic field of 200 (Oe).

[0214] As shown in drawing 16, when thickness tP1 of the 1st fixed magnetic layer (P1) is made into 30A (i.e., when it forms by the same thickness as the thickness tP2 of the 2nd fixed magnetic layer (P2)), it turns out that a switched connection field (Hex) falls rapidly. This is based on the reason mentioned above. Moreover, also when the thickness tP1 of the 1st fixed magnetic layer (P1) is about 32A, it turns out that the switched connection field is small. This is because the magnetic thickness of the 1st fixed magnetic layer becomes small and approaches the thickness tP2 (= 30A) of the 2nd fixed magnetic layer rather than the actual thickness tP1 according to generating of a thermal diffusion layer. In the interface of an antiferromagnetism layer and the 1st fixed magnetic layer, said thermal diffusion layer is formed, when a metallic element is spread, but as shown in the film configuration used in this experiment, when an antiferromagnetism layer and a fixed magnetic layer are formed below a free magnetic layer, it becomes easy to generate said thermal diffusion layer.

[0215] Drawing 18 is a graph which shows the thickness of said 1st fixed magnetic layer at the time of manufacturing a dual spin bulb mold thin film, fixing the 2nd two fixed magnetic layer of said dual spin bulb mold thin film both to 20A, and changing each thickness of the 1st two fixed magnetic layer, and relation with a switched connection field (Hex). The film configuration of the spin bulb mold thin film used in this experiment is as follows. Si substrate / alumina / Ta (30) / antiferromagnetism layer ;P tMn (150) — /— the 1st fixed magnetic layer () [P1] bottom; — Co(X) / nonmagnetic interlayer; — Ru (6) / fixed magnetic layer [of ** a 2nd] (under P2); — Co(20) / nonmagnetic conductive layer; — Cu(20) / free magnetic layer; — Co(10)+NiFe(40) +Co(10) / nonmagnetic conductive layer; — Cu (20) / 2nd fixed magnetic layer () [P2] top; — Co(20) / nonmagnetic interlayer; — Ru (8) / fixed magnetic layer [of ** a 1st] (on P1); — Co (X) / antiferromagnetism layer ;P tMn (150) / protective layer; — it is Ta (30). In addition, the numeric value in the parenthesis in each class shows thickness, and a unit is angstrom. Moreover, by this invention, after forming the above-mentioned spin bulb mold thin film, heat treatment of 4 hours was performed at 260 degrees C, impressing the magnetic field of 200 (Oe).

[0216] In addition, in the experiment, the 1st fixed magnetic layer (under P1) formed below the free magnetic layer was fixed by 25A, the thickness of the 1st fixed magnetic layer (on P1) formed above the free magnetic layer was changed, and it investigated about the thickness of said 1st fixed magnetic layer (on P1), and relation with a switched connection field (Hex). Moreover, the 1st fixed magnetic layer (on P1) formed above the free magnetic layer was fixed by 25A, the thickness of the 1st fixed magnetic layer (under P1) formed below the free magnetic layer was changed, and it investigated about the relation between the thickness of said 1st fixed magnetic layer (under P1), and a switched connection field.

[0217] Although the switched connection field becomes large gradually if the 1st fixed magnetic layer (under P1) is fixed by 25A and the thickness of the 1st fixed magnetic layer (on P1) is brought close to 20A as shown in drawing 18 If the thickness of said 1st fixed magnetic layer (on P1) becomes about 18–22A, a switched connection field will fall rapidly for the reason mentioned above from becoming the almost same thickness as the thickness of the 2nd fixed magnetic layer (on P1). Moreover, when thickness of said 1st fixed magnetic layer (on P1) is gradually enlarged from 22A to 30A, it turns out gradually that a switched connection field falls.

[0218] Moreover, if 25A (on P1) of 1st fixed magnetic layer is fixed by 7 and the thickness of the 1st fixed magnetic layer (under P1) is brought close to 20A as shown in drawing 18, the switched connection field becomes large gradually, but if the thickness of said 1st fixed magnetic

layer (under P1) becomes about 18–22A, the switched connection field will fall rapidly. Moreover, if thickness of said 1st fixed magnetic layer (under P1) is made larger than 22A, in a switched connection field, said thickness will become large to about 26A, but when said thickness is made into 26A or more, it turns out that a switched connection field falls.

[0219] The switched connection field in the 1st fixed magnetic layer (on P1) at the time of making thickness of the 1st fixed magnetic layer (P1) into about 22A here, If the switched connection field in the 1st fixed magnetic layer (under P1) is compared Compared with the case where the direction at the time of making thickness of the 1st fixed magnetic layer (on P1) into about 22A makes the 1st fixed magnetic layer (under P1) about 22A, it turns out that a switched connection field can be enlarged. It is because a thermal diffusion layer is easy to be formed in the interface of the 1st fixed magnetic layer (under P1), and an antiferromagnetism layer as this was mentioned above, so the magnetic thickness of said 1st fixed magnetic layer becomes small substantially and it becomes almost comparable as the thickness of the 2nd fixed magnetic layer (under P2).

[0220] As mentioned above, / (thickness of the 1st fixed magnetic layer (P1)) (thickness of the 2nd fixed magnetic layer (P2)) which can acquire the switched connection field more than 500 (Oe) by this invention by drawing 14, drawing 16, and the experimental result shown in drawing 18 was investigated. In order to acquire the switched connection field more than 500 (Oe) when the 1st fixed magnetic layer (P1) is fixed to 20A as first shown in drawing 14, it turns out that (thickness of 1st fixed magnetic layer (P1))/(thickness of the 2nd fixed magnetic layer (P2)) must be made into 0.91 or less [0.33 or more] and 1.1 or more. In addition, the thickness of the 2nd fixed magnetic layer at this time (P2) is within the limits of 10–60A (except for 18–22A).

[0221] Next, in order to acquire the switched connection field more than 500 (Oe) when the 1st fixed magnetic layer (P1) is fixed to 40A as shown in drawing 14, it turns out that (thickness of 1st fixed magnetic layer (P1))/(thickness of the 2nd fixed magnetic layer (P2)) must be made into 0.95 or less [0.57 or more] and 4 or less [1.05 or more]. In addition, the thickness of the 2nd fixed magnetic layer at this time (P2) is within the limits of 10–60A (except for 38–42A).

[0222] Next, in order to acquire the switched connection field more than 500 (Oe) when the 2nd fixed magnetic layer (P2) is fixed to 30A as shown in drawing 16, it turns out that (thickness of 1st fixed magnetic layer (P1))/(thickness of the 2nd fixed magnetic layer (P2)) must be made into 0.93 or less [0.33 or more] and 2.33 or less [1.06 or more]. In addition, the thickness of the 1st fixed magnetic layer at this time (P1) is within the limits of 10–70A (except for 28–32A).

[0223] If it is in the case of a dual spin bulb mold thin film and or more 0.9 1.1 or less range is removed among the range of (thickness of 1st fixed magnetic layer (P1))/(thickness of the 2nd fixed magnetic layer (P2)) as furthermore shown in drawing 18, it turns out that the switched connection field more than 500 (Oe) can be acquired. If the range of the largest thickness ratio that can obtain the switched connection more than 500 (Oe) here is taken, (thickness of 1st fixed magnetic layer (P1))/(thickness of the 2nd fixed magnetic layer (P2)) will become within the limits of 0.33 to 0.95, or 1.05–4. However, since a switched connection field is one of the elements not only with a thickness ratio but the important thickness of the 1st fixed magnetic layer (P1) and the 2nd fixed magnetic layer (P2) Moreover, within the limits of the thickness ratio mentioned above, furthermore, the thickness of the 1st fixed magnetic layer (P1), and the thickness of the 2nd fixed magnetic layer (P2) If the absolute value which considered as within the limits of 10–70A, and lengthened the thickness of the 2nd fixed magnetic layer (P2) from the thickness of the 1st fixed magnetic layer (P1) is made into 2A or more, it will become possible to acquire the switched connection field more than 500 (Oe).

[0224] Next, in this invention, / (thickness of the 1st fixed magnetic layer (P1)) (thickness of the 2nd fixed magnetic layer (P2)) which can acquire the switched connection field more than 1000 (Oe) was investigated. It is possible to acquire the switched connection field more than 1000 (Oe), if (thickness of 1st fixed magnetic layer (P1))/(thickness of the 2nd fixed magnetic layer (P2)) is made into 0.53 to 0.91 or 1.1 or more when the 1st fixed magnetic layer (P1) is made into 20A, as first shown in drawing 14. In addition, the thickness of the 2nd fixed magnetic layer at this time (P2) is within the limits of 10–38A (except for 18–22A).

[0225] Moreover, if (thickness of 1st fixed magnetic layer (P1))/(thickness of the 2nd fixed magnetic layer (P2)) is carried out within the limits of 0.88 to 0.95, or 1.05–1.8 when the 1st fixed

magnetic layer (P1) is made into 40Å as shown in drawing 14, it is possible to acquire the switched connection field more than 1000 (Oe). In addition, the thickness of the 2nd fixed magnetic layer at this time (P2) is within the limits of 22–45Å (except for 38–42Å).

[0226] It is possible to acquire the switched connection field more than 1000 (Oe), if it is within the limits of 0.56 to 0.93, or 1.06–1.6 about (thickness of 1st fixed magnetic layer (P1))/(thickness of the 2nd fixed magnetic layer (P2)) when the 2nd fixed magnetic layer (P2) is fixed to 30Å, as furthermore shown in drawing 16. In addition, the thickness of the 1st fixed magnetic layer at this time (P1) is within the limits of 10–50Å (except for 28–32Å).

[0227] Moreover, if it is in the case of a dual spin bulb mold thin film and (thickness of 1st fixed magnetic layer (P1))/(thickness of the 2nd fixed magnetic layer (P2)) is carried out within the limits of 0.5 to 0.9, or 1.1 to about 1.5 as shown in drawing 18, it is possible to acquire the switched connection field more than 1000 (Oe). Therefore, in order to acquire the switched connection field more than 1000 (Oe) Thickness/(thickness of the 2nd fixed magnetic layer (P2)) of the 1st fixed magnetic layer (P1) It carries out within the limits of 0.53 to 0.95, or 1.05–1.8. Further the thickness of the 1st fixed magnetic layer (P1) and the 2nd fixed magnetic layer (P2) within the limits of 10–50Å And it is desirable that the absolute value which lengthened the thickness of the 2nd fixed magnetic layer (P2) from the thickness of the 1st fixed magnetic layer (P1) is 2Å or more. In addition, if it is within the limits of the thickness ratio mentioned above and thickness as shown in drawing 15 and drawing 17, it is possible for deltaMR not to fall so much, either but to obtain about 6% or more of deltaMR. It is [whether the value of this deltaMR is comparable as deltaMR of the conventional spin bulb mold thin film (it restricts to a single spin bulb mold thin film), and] a value low a little.

[0228] Moreover, as shown in drawing 15, when the 1st fixed magnetic layer (P1) is made into 40Å, compared with the case where the 2nd fixed magnetic layer (P1) is made into 20Å, it turns out a little that deltaMR becomes small. Said 1st fixed magnetic layer (P1) is a layer which does not participate in deltaMR in fact, and the aforementioned deltaMR is determined by the relation between fixed magnetization of the 2nd fixed magnetic layer (P2), and fluctuation magnetization of a free magnetic layer. However, since a sense current flows also to the 1st fixed magnetic layer (P1) which does not participate in deltaMR, the so-called shunt loss (splitting loss) occurs, and this shunt loss becomes so large that the thickness of the 1st fixed magnetic layer (P1) becomes thick. deltaMR tends to fall [tend], so that the thickness of the 1st fixed magnetic layer (P1) becomes thick, since it is above.

[0229] Next, it measured about a nonmagnetic interlayer's proper thickness formed between the 1st fixed magnetic layer (P1) and the 2nd fixed magnetic layer (P2). In addition, for the experiment, two kinds of spin bulb mold thin films, the bottom mold with which the antiferromagnetism layer was formed below the free magnetic layer, and the top mold with which the antiferromagnetism layer was formed above the free magnetic layer, were manufactured, and it investigated about the relation between said nonmagnetic interlayer's thickness, and a switched connection field to it. The film configuration of the spin bulb mold thin film of the bottom mold used for the experiment From the bottom Si substrate / alumina / Ta (30) — /antiferromagnetism layer ;P They are Co(10)+NiFe(40) / Ta (30). tMn (200) / fixed magnetic layer [of ** a 1st]; — Co(20) / nonmagnetic interlayer; — Ru (X) / fixed magnetic layer [of ** a 2nd]; — Co(25) / nonmagnetic conductive layer; — Co(10) / free magnetic layer; — The film configuration of the spin bulb mold thin film of a top mold From the bottom Si substrate / alumina / Ta (30) — /free magnetic layer; — NiFe(40)+Co(10) / nonmagnetic conductive layer; — Cu (25) / fixed magnetic layer [of ** a 2nd]; — Co(25) / nonmagnetic interlayer; — Ru (X) / fixed magnetic layer [of ** a 1st]; — Co(20) / antiferromagnetism layer ;P It is tMn (200)/Ta (30). In addition, the numeric value in a parenthesis expresses thickness and a unit is angstrom.

[0230] Moreover, heat treatment of 4 hours has been performed at 260 degrees C after forming each spin bulb mold thin film, impressing the magnetic field of 200 (Oe). The experimental result is shown in drawing 19. As shown in drawing 19, it turns out with a top mold and a bottom mold that the behavior of the switched connection field over the thickness of Ru film (nonmagnetic interlayer) differs greatly. Since the range which can acquire the switched connection field more than 500 (Oe) in this invention is made desirable, in the spin bulb mold thin film of a top mold, it turns out that the thickness of Ru film which can acquire the switched connection field more

than 500 (Oe) is within the limits of 2.5–6.4Å or 6.6–10.7Å. It is within the limits from which the switched connection field more than 1000 (Oe) is acquired still more preferably, and if the thickness of said Ru film is ***** within the limits of 2.8–6.2Å or 6.8–10.3Å, it turns out that the switched connection field more than 1000 (Oe) is acquired.

[0231] Next, in the spin bulb mold thin film of a bottom mold, it turns out that the thickness of Ru film which can acquire the switched connection field more than 500 (Oe) is within the limits of 3.6–9.6Å. Furthermore, it becomes possible to acquire the switched connection field within the limits of 4.0–9.4Å, then more than 1000 (Oe). by the way, the switched connection field (RKKY interaction) on which that the range of fitness nonmagnetic interlayer thickness differs by the spin bulb mold thin film of a top mold and the spin bulb mold thin film of a bottom mold acts between the 1st fixed magnetic layer and the 2nd fixed magnetic layer — relation with the lattice constant of the substrate film — or it is surmised that it is for reacting to the value change of the energy band of the conduction electron of a magnetic layer very sensitively.

[0232] Next, in this invention, four kinds of spin bulb mold thin films (single spin bulb mold thin film) were manufactured, and it measured about the thickness of the antiferromagnetism layer (PtMn alloy) of each spin bulb mold thin film, and relation with a switched connection field. For examples 1 and 2, the spin bulb mold thin film by which the fixed magnetic layer was divided by two-layer [of the 1st fixed magnetic layer and the 2nd fixed magnetic layer] through the nonmagnetic middle class, and the examples 1 and 2 of a comparison are the spin bulb mold thin films of the conventional type with which the fixed magnetic layer was formed by the monolayer.

[0233] The spin bulb mold thin film of an example 1 is the top mold with which the antiferromagnetism layer was formed in the bottom rather than the free magnetic layer first. A film configuration from the bottom Si substrate / alumina / Ta (30) — /free magnetic layer; — NiFe(40)+Co(10) / nonmagnetic conductive layer; — Cu (25) / fixed magnetic layer [of ** a 2nd]; — Co(25) / nonmagnetic interlayer; — Ru (4) / fixed magnetic layer [of ** a 1st]; — Co (20) / antiferromagnetism layer ;P They are tMn(X) / Ta (30). Moreover, the spin bulb mold thin film of an example 2 is the bottom mold with which the antiferromagnetism layer was formed below the free magnetic layer. A film configuration from the bottom Si substrate / alumina / Ta (30) — /antiferromagnetism layer ;P tMn (X) / fixed magnetic layer [of ** a 1st]; — Co(20) / nonmagnetic interlayer; — Ru (8) / fixed magnetic layer [of ** a 2nd]; — Co(25) / nonmagnetic conductive layer; — Cu(25) / free magnetic layer; — they are Co(10)+NiFe(40) / Ta (30).

[0234] Moreover, the spin bulb mold thin film of the example 1 of a comparison is the top mold with which the antiferromagnetism layer was formed in the bottom rather than the free magnetic layer. a film configuration — Si substrate [from the bottom] / alumina / Ta(30)/— free — magnetic layer;NiFe(40)+Co(10) / nonmagnetic conductive layer;Cu(25) / fixed magnetic layer;Co (40) / antiferromagnetism layer ;P They are tMn(X) / Ta (30). Moreover, the spin bulb mold thin film of the example 2 of a comparison is the bottom mold with which the antiferromagnetism layer was formed in the bottom rather than the free magnetic layer. a film configuration — Si substrate / alumina / Ta(30) / antiferromagnetism layer from the bottom ;P tMn(X) / fixed magnetic layer; — Co(40) / nonmagnetic conductive layer; — Cu(25) / free magnetic layer; — they are Co(10)+NiFe(40) / Ta (30). In addition, in the film configuration of each spin bulb mold thin film, the numeric value in a parenthesis shows thickness, and a unit is angstrom.

[0235] Furthermore by this invention, heat treatment of 4 hours has been performed at 260 degrees C after membrane formation of a spin bulb mold thin film, impressing the magnetic field of 2k (Oe), if it is in examples 1 and 2, and it is in the magnetic field of 200 (Oe), and the examples 1 and 2 of a comparison. The experimental result is shown in drawing 20 .

[0236] As shown in drawing 20 , when all of four kinds of spin bulb mold thin films thicken thickness of a PtMn alloy shows that a switched connection field can be enlarged. By this invention, since the range which can acquire the switched connection field more than 500 (Oe) is made into the desirable range, if thickness of a PtMn alloy is not formed by at least 200Å or more, in both the examples 1 and 2 of a comparison, it turns out that the switched connection field more than 500 (Oe) cannot be acquired here. On the other hand, if thickness of a PtMn alloy is made into 90Å or more in examples 1 and 2, it turns out that it is possible to acquire the switched connection field more than 500 (Oe). So, in this invention, the range of the desirable thickness of a PtMn alloy is set up within the limits of 90–200Å.

[0237] If thickness of the PtMn alloy of examples 1 and 2 is made into 100A or more as furthermore shown in drawing 20, it turns out that it is possible to acquire the switched connection field more than at least 1000 (Oe). So, in this invention, the thickness of a PtMn alloy also with a desirable twist is set up within the limits of 100–200A.

[0238] Next, in this invention, two kinds of dual spin bulb mold thin films were manufactured, and it measured about the thickness of the antiferromagnetism layer (PtMn alloy) in each spin bulb mold thin film, and relation with a switched connection field. The dual spin bulb mold thin film of this invention which the fixed magnetic layer divided the example through the nonmagnetic interlayer to two-layer [of the 1st fixed magnetic layer and the 2nd fixed magnetic layer], and was formed, and the example of a comparison are the conventional dual spin bulb mold thin films in which the fixed magnetic layer was formed by the monolayer.

[0239] First the film configuration in the spin bulb mold thin film of an example From the bottom Si substrate / alumina / Ta (30) / antiferromagnetism layer ;P tMn (x) — /— fixed magnetic layer [of ** a 1st]; — Co (20) — /nonmagnetic interlayer; — Ru (6) — /— fixed magnetic layer [of ** a 2nd]; — Co (25) — /nonmagnetic conductive layer; — Cu (20) — /free magnetic layer; — Co(10)+NiFe(40)+Co(10) / nonmagnetic conductive layer; — Cu (20) / fixed magnetic layer [of ** a 2nd]; — Co(20) / nonmagnetic interlayer; — Ru (8) / fixed magnetic layer [of ** a 1st]; — Co(25) / antiferromagnetism layer ;P They are tMn(X) / Ta (30). The film configuration in the spin bulb mold thin film of the example of a comparison From the bottom Si substrate / alumina / Ta (30) / antiferromagnetism layer ;P tMn (X) — /fixed magnetic layer; — Co(30) / nonmagnetic conductive layer; — Cu(20) / free magnetic layer; — Co(10)+NiFe(40)+Co (10) / nonmagnetic conductive layer; — Cu(20) / fixed magnetic layer; — Co(30) / antiferromagnetism layer ;P They are tMn(X) / Ta (30). In addition, the numeric value in the parenthesis in the film configuration of each spin bulb mold thin film shows thickness, and a unit is angstrom.

[0240] Moreover, heat treatment of 4 hours has been performed at 260 degrees C, impressing the magnetic field of 200 (Oe) in the example after forming each spin bulb mold thin film, and impressing the magnetic field of 2k (Oe) in the example of a comparison. The experimental result is shown in drawing 21. As shown in drawing 21, if thickness of a PtMn alloy is not formed by about 200A or more, in the example of a comparison, it turns out that the switched connection field more than 500 (Oe) cannot be acquired. On the other hand, in the example, if the thickness of a PtMn alloy is formed by 100A or more, it turns out that the switched connection field more than 500 (Oe) can be acquired. So, in this invention, the thickness of a desirable antiferromagnetism layer is set up within the limits of 100–200A. Furthermore, in the example, if the thickness of a PtMn alloy is formed by 110A or more, since it is possible to acquire the switched connection field more than 1000 (Oe), by this invention, the thickness of a more desirable antiferromagnetism layer has been set up within the limits of 110–200A.

[0241] Moreover, drawing 22 is a graph which shows the thickness of a PtMn alloy, and relation with deltaMR. As shown in drawing 22, in the example of a comparison, if the thickness of a PtMn alloy is formed by 200A or more, it is possible to obtain about 10% or more of deltaMR, but even if it makes thickness of a PtMn alloy thin at about 100A, in an example, it turns out that deltaMR of almost same extent as the former is securable.

[0242] By the way, the thickness of an antiferromagnetism layer is the thickest among the cascade screens in a spin bulb mold thin film. For this reason, according to this invention, as shown in drawing 20 and drawing 21, even if it makes thickness of said antiferromagnetism layer thin and specifically forms below in one half of the thickness of the antiferromagnetism layer of the conventional spin bulb mold thin film, it is possible to acquire a large switched connection field. For this reason, in this invention, as thickness of the whole spin bulb mold thin film can be made thin and it is shown in drawing 13, even if it makes thick enough to extent which can secure insulation thickness of the gap layer 121,125 in which said spin bulb mold thin film 122 is formed up and down, gap length G1 can be made small and narrow gap-ization can be realized.

[0243] Next, the spin bulb mold thin film in this invention which divided and formed the free magnetic layer in two-layer [of the 1st free magnetic layer and the 2nd free magnetic layer] through the nonmagnetic interlayer was manufactured, and it measured about the relation between the thickness ratio of said 1st free magnetic layer and the 2nd free magnetic layer, and

a switched connection field. First, the thickness of the 1st free magnetic layer (free magnetic layer of the side which touches a nonmagnetic conductive layer and participates in deltaMR directly) was fixed by 50A, and the thickness of the 2nd free magnetic layer (free magnetic layer of the side which does not participate in deltaMR directly) was changed. A film configuration from the bottom Si substrate / alumina / Ta (30) --- /--- free magnetic layer [of ** a 2nd] (F2); --- NiFe(X) / nonmagnetic interlayer; --- Ru (8) / free magnetic layer [of ** a 1st] (F1); --- NiFe (40)+Co(10) / nonmagnetic conductive layer; --- Cu(20) / Ru(8) / antiferromagnetism layer ;P It is tMn (150)/Ta (30). The numeric value in the parenthesis in each class shows thickness, and a unit is angstrom. In addition, heat treatment of 4 hours has been performed at 260 degrees C after forming a spin bulb mold thin film, impressing the magnetic field of 200 (Oe).

[0244] As shown in drawing 23 , when the thickness of the 2nd free magnetic layer (F2) becomes large to about 40A, it turns out that a switched connection field becomes large. Moreover, when the thickness of said 2nd free magnetic layer (F2) becomes 60A or more, it turns out that a gradual switched connection field falls.

[0245] The switched connection field was not able to become it small rapidly that it was within the limits whose thickness of said 2nd free magnetic layer (F2) is 40-60A, and it was not able to measure. Since the cause becomes the value with almost same thickness (= 50A) of the 1st free magnetic layer (F1) and thickness of the 2nd free magnetic layer, The magnetic moment of said 1st free magnetic layer (F1) and the 2nd free magnetic layer (F2) becomes almost the same, and magnetization of said 1st free magnetic layer (F1) and magnetization of the 2nd free magnetic layer (F2) make both the other side in the direction of an impression magnetic field to an impression magnetic field. Although a switched connection field (RKKY interaction) tends to occur between the 1st free magnetic layer (F1) and the 2nd free magnetic layer (F2) and magnetization of said 1st free magnetic layer (F1) and magnetization of the 2nd free magnetic layer (F2) tend to be in the condition of anti-parallel if the values of the magnetic moment differ As mentioned above, in order that magnetization of said 1st free magnetic layer (F1) and magnetization of the 2nd free magnetic layer (F2) may make both the other side in the same direction, The magnetization condition of said 1st free magnetic layer (F1) and the 2nd free magnetic layer (F2) is destabilized, it becomes impossible to control whenever [angular relation / of fluctuation magnetization of said 2nd free magnetic layer (F2), and fixed magnetization of a fixed magnetic layer (1st fixed magnetic layer)], and deltaMR falls rapidly so that it may mention later.

[0246] Since the range which can acquire the switched connection field more than 500 (Oe) in this invention is set as the desirable range, if (thickness of 1st free magnetic layer (F1))/ (thickness of the 2nd free magnetic layer (F2)) is formed within the limits of 0.56 to 0.83, or 1.25-5 as shown in drawing 23 , it turns out that the switched connection field more than 500 (Oe) can be acquired. If the above (thickness of the 1st free magnetic layer (F1) / thickness of the 2nd free magnetic layer (F2)) is formed within the limits of 0.61 to 0.83, or 1.25-2.1, the switched connection field more than 1000 (Oe) can be acquired, and it is more more desirable still.

[0247] Next, in this invention, the spin bulb mold thin film in this invention which divided and formed the free magnetic layer in two-layer [of the 1st free magnetic layer and the 2nd free magnetic layer] through the nonmagnetic interlayer was manufactured, and it measured about the relation between the thickness ratio of said 1st free magnetic layer and the 2nd free magnetic layer, and deltaMR. First, the 2nd free magnetic layer (free magnetic layer of the side which does not participate in deltaMR directly) was fixed by 20A, and the thickness of the 1st free magnetic layer (free magnetic layer of the side which touches a nonmagnetic conductive layer and participates in deltaMR directly) was changed. A film configuration from the bottom Si substrate / alumina / Ta (30) --- /--- free magnetic layer [of ** a 2nd]; --- NiFe (20) --- /nonmagnetic interlayer; --- Ru (8) --- /--- free magnetic layer [of ** a 1st]; --- NiFe(X)+Co (10) / nonmagnetic conductive layer; --- Cu (20) / fixed magnetic layer [of ** a 1st]; --- Co (25) / nonmagnetic interlayer; --- Ru (8) / fixed magnetic layer [of ** a 2nd]; --- Co(20) / antiferromagnetism layer ;P They are tMn(15) / Ta (30). The numeric value in the parenthesis in each class shows thickness, and a unit is angstrom.

[0248] In addition, by this invention, after forming a spin bulb mold thin film, the magnetic field of

200 (Oe) was impressed and heat treatment of 4 hours has been performed at 260 degrees C. Moreover, in this invention, the 1st free magnetic layer is formed by two-layer, and is changing the thickness of the NiFe film so that the above-mentioned film configuration may be seen and may be known. the axis of abscissa shown in drawing 24 although the experimental result is shown in drawing 24 — the thickness of a NiFe alloy, and the thickness (= 10A) of Co film — a guide peg — it is the thickness of free magnetic layer synthesis of the bottom 1st.

[0249] Since the thickness of the 1st free magnetic layer (F1) will become almost comparable as the thickness of the 2nd free magnetic layer (F2) if it approaches 20A as shown in drawing 24, it turns out that deltaMR falls rapidly. Moreover, if the thickness of the 1st free magnetic layer (F1) becomes about 30A or more as shown in drawing 24, it is possible for deltaMR to go up and to obtain deltaMR comparable as the conventional spin bulb mold thin film (single spin bulb mold thin film).

[0250] By the way, if the range (thickness of the 1st free magnetic layer (F1)) of / (thickness of the 2nd free magnetic layer (F2)) which can acquire the switched connection field more than 500 (Oe) drawn from drawing 23 is expressed on drawing 24 If thickness/(thickness of the 2nd free magnetic layer (F2)) of the 1st free magnetic layer (F1) is ***ed within the limits of 1.25-5, it is possible to obtain high deltaMR.

[0251] Next, in this invention, the thickness of the nonmagnetic interlayer who intervenes between the 1st free magnetic layer and the 2nd free magnetic layer was changed, and it measured about the relation between said nonmagnetic interlayer's thickness, and a switched connection field. The film configuration of the spin bulb mold thin film (dual spin bulb mold thin film) used for the experiment from the bottom Si substrate / alumina / Ta

(30) /antiferromagnetism layer ;P tMn (150) /Ru (6) -- /nonmagnetic conductive layer; -- Cu (20) -- /-- free magnetic layer [of ** a 1st]; -- Co(10)+NiFe(50) / nonmagnetic interlayer; -- Ru (X) / free magnetic layer [of ** a 1st]; -- NiFe(30)+Co(10) / nonmagnetic conductive layer; -- Cu(20) / Ru(8) / antiferromagnetism layer ;P It is tMn (150)/Ta (30). The numeric value in the parenthesis in each class expresses thickness, and a unit is angstrom.

[0252] In addition, by this invention, heat treatment of 4 hours has been performed at 260 degrees C after forming a spin bulb mold thin film, impressing the magnetic field of 200 (Oe). The experimental result is shown in drawing 20. As shown in drawing 20, in order to acquire the switched connection field more than 500 (Oe), it turns out that what is necessary is just to form the thickness of Ru film within the limits of 5.5-10.0A. Moreover, in order to acquire the switched connection field more than 1000 (Oe), it turns out that what is necessary is just to form the thickness of Ru film within the limits of 5.9-9.4A.

[0253]

[Effect of the Invention] According to this invention explained in full detail above, a fixed magnetic layer is divided and formed in two-layer [of the 1st fixed magnetic layer and the 2nd fixed magnetic layer] through a nonmagnetic interlayer. If magnetization of said 1st fixed magnetic layer and magnetization of the 2nd fixed magnetic layer are changed into an anti-parallel condition by the switched connection field (RKKY interaction) generated between said 1st fixed magnetic layer and the 2nd fixed magnetic layer, it is possible to maintain the magnetization condition of said fixed magnetic layer at the condition of having been stabilized very much. It is possible for the magnetization condition of said 1st fixed magnetic layer and the 2nd fixed magnetic layer to be stabilized still more nearly thermally by making in agreement the direction of the synthetic magnetic moment which adds the direction of the sense current field formed by especially passing a sense current by this invention, and the magnetic moment of the 1st fixed magnetic layer and the magnetic moment of the 2nd fixed magnetic layer, and can search for it.

[0254] In addition, in order to be able to apply it even if control of this direction of a sense current is the case where what kind of antiferromagnetism ingredient is used for an antiferromagnetism layer, for example, to generate a switched connection field (exchange anisotropy field) in the interface of an antiferromagnetism layer and a fixed magnetic layer (1st fixed magnetic layer), it does not ask whether heat treatment is required or it is not required. Furthermore, like before, even if it is the case of the single spin bulb mold thin film in which the fixed magnetic layer was formed by the monolayer, it is possible to stabilize magnetization of

said fixed magnetic layer thermally by making in agreement the direction of the sense current field formed by passing the sense current mentioned above, and the magnetization direction of a fixed magnetic layer. Moreover, it is possible by adjusting the thickness ratio of said 1st fixed magnetic layer and the 2nd fixed magnetic layer, and thickness within fitness limits in this invention the switched connection field more than 500 (Oe) and to acquire the switched connection field more than 1000 (Oe) still more preferably.

[0255] Moreover, when the nonmagnetic interlayer who intervenes between said 1st fixed magnetic layer and the 2nd fixed magnetic layer is formed by Ru, Rh, Ir, Cr, Re, Cu, etc. and said nonmagnetic interlayer is further formed above a free magnetic layer in this invention, By the case where a nonmagnetic interlayer is formed in the bottom, by adjusting said nonmagnetic interlayer's thickness within fitness limits, the switched connection field more than 500 (Oe) can be acquired, and the switched connection field more than 1000 (Oe) can be acquired more preferably. The switched connection field (exchange anisotropy field) which blocking temperature is high as an antiferromagnetism layer, and is furthermore generated in this invention according to an interface with a fixed magnetic layer (1st fixed magnetic layer) is large, and the PtMn alloy is used as an antiferromagnetism ingredient which was moreover excellent in corrosion resistance. Or you may form by X-Mn (however, X is any one sort or two sorts or more of elements of Pd, Ir, Rh, and Ru), and Pt-Mn-X' (however, X' is any one sort or two sorts or more of elements of Pd, Ir, Rh, Ru, Au, and Ag).

[0256] Like this invention, by the case where a fixed magnetic layer is divided to two-layer [of the 1st fixed magnetic layer and the 2nd fixed magnetic layer], even if it forms the thickness of said antiferromagnetism layer by the thickness of one half extent of the conventional antiferromagnetism layer, the switched connection field more than 500 (Oe) can be acquired, and the switched connection field more than 1000 (Oe) can be acquired more preferably. It is desirable for a free magnetic layer to be divided by the 1st free magnetic layer and the 2nd free magnetic layer through a nonmagnetic interlayer like a fixed magnetic layer, and to be formed furthermore, by this invention. A switched connection field (RKKY interaction) occurs between the 1st free magnetic layer and the 2nd free magnetic layer, an anti-parallel condition is magnetized and magnetization of said 1st free magnetic layer and magnetization of the 2nd free magnetic layer can be reversed now with sufficient sensibility to an external magnetic field.

[0257] Moreover, in this invention, the thickness ratio of said 1st free magnetic layer and the 2nd free magnetic layer is formed within proper limits. If the nonmagnetic interlayer who furthermore intervenes between said 1st free magnetic layer and the 2nd free magnetic layer is formed by Ru film etc. and said nonmagnetic interlayer's thickness is formed within fitness limits It is possible to acquire the switched connection field more than 500 (Oe), and the switched connection field more than 1000 (Oe) can be acquired more preferably.

[0258] When the antiferromagnetism layer which needs heat treatment in an interface with the 1st fixed magnetic layer is furthermore used according to this invention By adjusting the size of the magnetic moment of the 1st fixed magnetic layer, and the magnetic moment of the 2nd fixed magnetic layer proper, and adjusting the direction of the magnetic field further impressed during said heat treatment, and its magnitude proper It can turn in the direction to turn magnetization of the 1st fixed magnetic layer to, and it is possible to control magnetization of said 1st fixed magnetic layer and magnetization of the 2nd fixed magnetic layer proper in the anti-parallel condition moreover.

[Translation done.]

* NOTICES *

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

- [Drawing 1] The cross-sectional view of the spin bulb mold thin film of the 1st operation gestalt in this invention,
- [Drawing 2] The sectional view which looked at the spin bulb mold thin film shown in drawing 1 from the opposed face side with a record medium,
- [Drawing 3] The cross-sectional view of the spin bulb mold thin film of the 2nd operation gestalt in this invention,
- [Drawing 4] The sectional view which looked at the spin bulb mold thin film shown in drawing 3 from the opposed face side with a record medium,
- [Drawing 5] The cross-sectional view of the spin bulb mold thin film of the 3rd operation gestalt in this invention,
- [Drawing 6] The sectional view which looked at the spin bulb mold thin film shown in drawing 5 from the opposed face side with a record medium,
- [Drawing 7] The cross-sectional view of the spin bulb mold thin film of the 4th operation gestalt in this invention,
- [Drawing 8] The sectional view which looked at the spin bulb mold thin film shown in drawing 7 from the opposed face side with a record medium,
- [Drawing 9] The cross-sectional view of the spin bulb mold thin film of the 5th operation gestalt in this invention,
- [Drawing 10] The sectional view which looked at the spin bulb mold thin film shown in drawing 9 from the opposed face side with a record medium,
- [Drawing 11] The cross-sectional view of the spin bulb mold thin film of the 6th operation gestalt in this invention,
- [Drawing 12] The sectional view which looked at the spin bulb mold thin film shown in drawing 11 from the opposed face side with a record medium,
- [Drawing 13] The sectional view which saw the read-out head (reproducing head) from the opposed face with a record medium,
- [Drawing 14] The graph which indicates relation with a switched connection field (Hex) to be the thickness of the 2nd fixed magnetic layer (P2) at the time of fixing the thickness of the 1st fixed magnetic layer (P1) by 20 or 40A, and relation with a switched connection field and (thickness of the 1st fixed magnetic layer (P1))/(thickness of the 2nd fixed magnetic layer (P2)),
- [Drawing 15] The graph which shows the thickness of the 2nd fixed magnetic layer (P2) at the time of fixing the thickness of the 1st fixed magnetic layer (P1) by 20 or 40A, and relation with ΔMR (%),
- [Drawing 16] The graph which shows the thickness of the 1st fixed magnetic layer (P1) at the time of fixing the 2nd fixed magnetic layer (P2) by 30A, relation with a switched connection field, and (thickness of the 1st fixed magnetic layer (P1)) the relation between / (thickness of the 2nd fixed magnetic layer (P2)), and a switched connection field (Hex),
- [Drawing 17] The graph which shows the thickness of the 1st fixed magnetic layer (P1) at the time of fixing the 2nd fixed magnetic layer (P2) by 30A, and relation with ΔMR (%),
- [Drawing 18] In a dual spin bulb mold thin film The relation between the thickness of the 1st fixed magnetic layer (above) and the thickness of the 1st fixed magnetic layer (below), and a switched connection field (Hex), The graph which, furthermore (thickness of the 1st fixed

magnetic layer (on P1)), shows the relation between/(thickness of the 2nd fixed magnetic layer (on P2)) and (thickness of the 1st fixed magnetic layer (under P1))/(thickness of the 2nd fixed magnetic layer (under P2)), and a switched connection field (Hex),

[Drawing 19] The graph which shows the relation of the thickness of Ru (nonmagnetic interlayer) and the switched connection field (Hex) which intervene between the 1st fixed magnetic layer and the 2nd fixed magnetic layer,

[Drawing 20] The graph which uses four kinds of spin bulb mold thin films, and shows the thickness of PtMn (antiferromagnetism layer) of each spin bulb mold thin film, and relation with a switched connection field (Hex),

[Drawing 21] The graph which uses two kinds of dual spin bulb mold thin films, and shows the thickness of PtMn (antiferromagnetism layer) of each dual spin bulb mold thin film, and relation with a switched connection field (Hex),

[Drawing 22] The graph which uses two kinds of dual spin bulb mold thin films, and shows the thickness of PtMn (antiferromagnetism layer) of each dual spin bulb mold thin film, and relation with deltaMR (%),

[Drawing 23] The graph which shows the relation between the thickness of the 2nd free magnetic layer (F2), and a switched connection field (Hex), and (thickness of the 1st free magnetic layer (F1)) the relation between / (thickness of the 2nd free magnetic layer (F2)), and a switched connection field (Hex) when the thickness of the 1st free magnetic layer (F1) is fixed by 50A,

[Drawing 24] The graph which shows the thickness of the 1st free magnetic layer (F1), relation with deltaMR (%), and (thickness of the 1st free magnetic layer (F1)) the relation between / (thickness of the 2nd free magnetic layer (F2)), and deltaMR (%) when the thickness of the 2nd free magnetic layer (F2) is fixed by 20A,

[Drawing 25] The graph which shows the thickness of Ru (nonmagnetic interlayer) which intervenes between the 1st free magnetic layer (F1) and the 2nd free magnetic layer (F2), and relation with a switched connection field (Hex),

[Drawing 26] The hysteresis loop in the spin bulb mold thin film in this invention, and the spin bulb mold thin film in the former,

[Drawing 27] The graph which shows the relation of the environmental temperature (degree C) and the switched connection field (Hex) in each spin bulb mold thin film at the time of forming by FeMn when an antiferromagnetism layer is formed by PtMn and it forms by NiO,

[Drawing 28] The cross-sectional view of the spin bulb mold thin film in the former,

[Drawing 29] The sectional view which looked at the spin bulb mold thin film shown in drawing 28 from the opposed face side with a record medium,

[Description of Notations]

10, 30, 50, 70, 91 Substrate layer

11, 28, 31, 44, 51, 80, 92, 108 Antiferromagnetism layer

12, 27, 52, 79 1st fixed magnetic layer

13, 26, 33, 42, 53, 59, 72, 78, 94, 100, 106 Nonmagnetic interlayer

14, 25, 54, 77 2nd fixed magnetic layer

15, 24, 35, 40, 55, 76, 96, 104 Nonmagnetic conductive layer

16, 21, 36 Free magnetic layer

19, 29, 45, 61, 81, 109 Protective layer

32 93 1st fixed magnetic layer (below)

34 95 2nd fixed magnetic layer (below)

41, 105 2nd fixed magnetic layer (above)

43, 107 1st fixed magnetic layer (above)

56 73, 101 1st free magnetic layer

60, 71, 97 2nd free magnetic layer

62 82, 130 Hard bias layer

63 83, 131 Conductive layer

112, 113, 114 Sense current

[Translation done.]

* NOTICES *

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

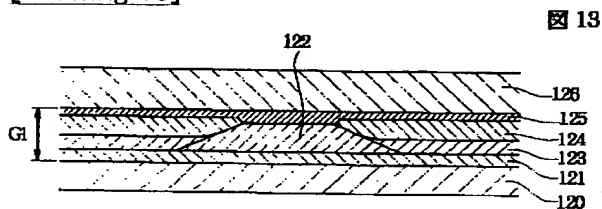
1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.*** shows the word which can not be translated.

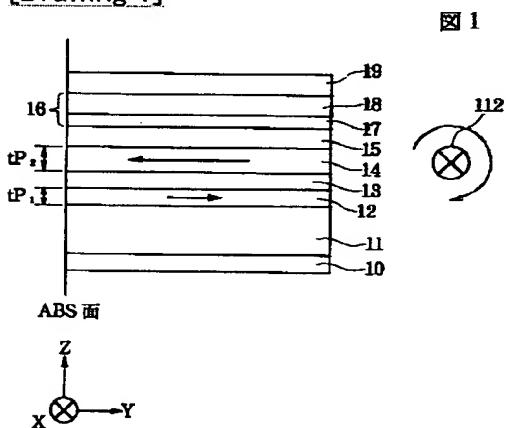
3.In the drawings, any words are not translated.

DRAWINGS

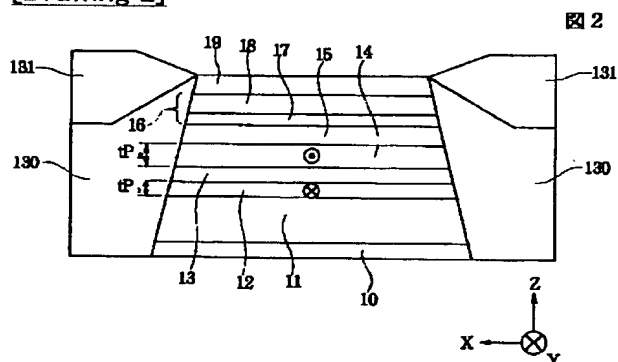
[Drawing 13]



[Drawing 1]

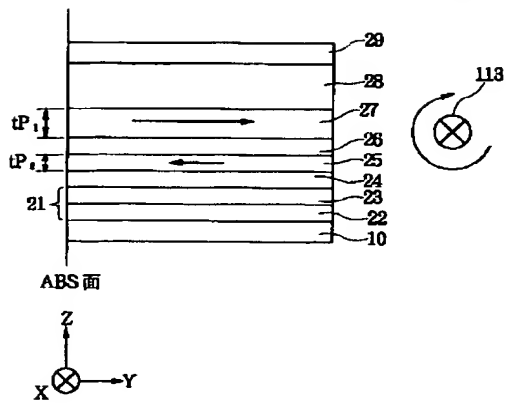


[Drawing 2]

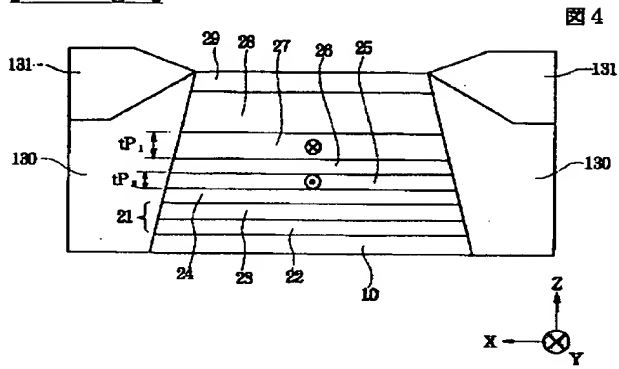


[Drawing 3]

図 3

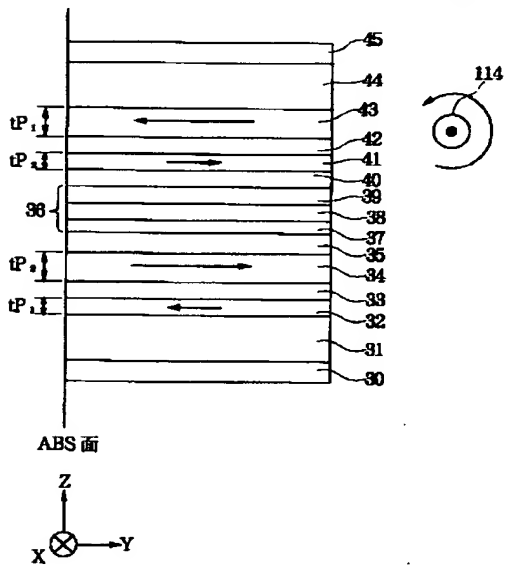


[Drawing 4]



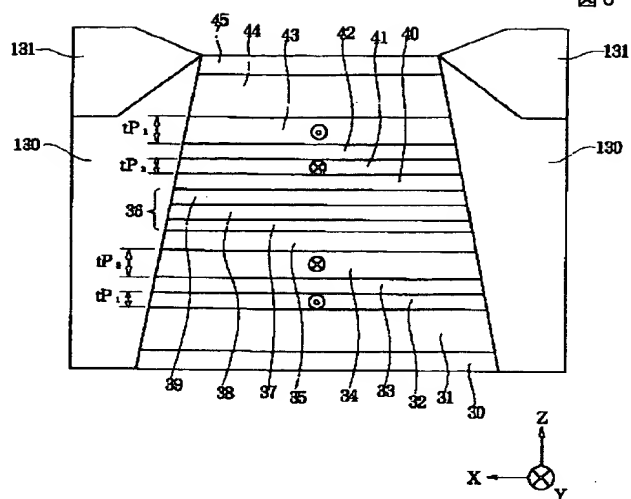
[Drawing 5]

図 5



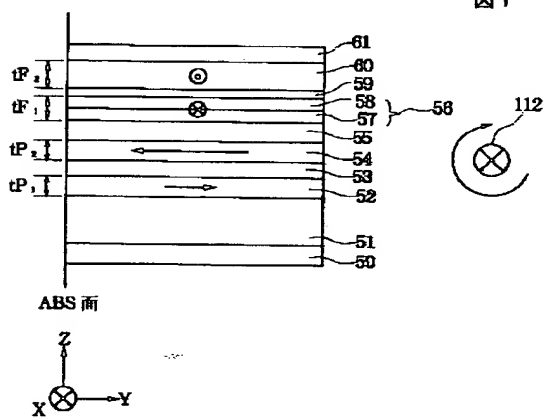
[Drawing 6]

図 6



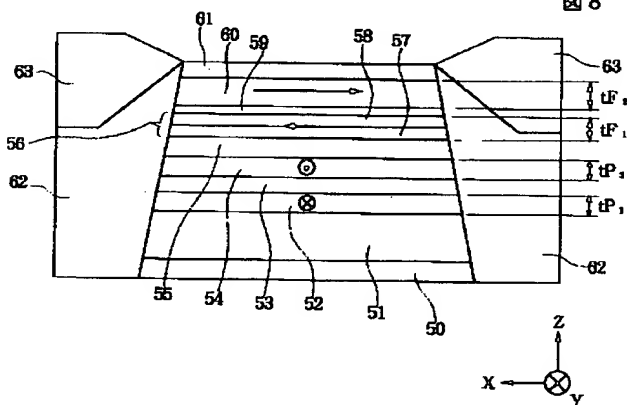
[Drawing 7]

図 7



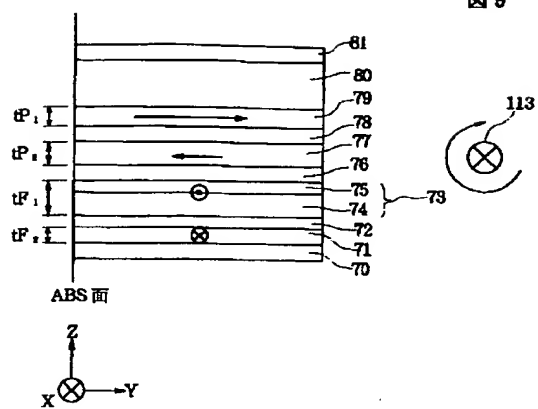
[Drawing 8]

図 8



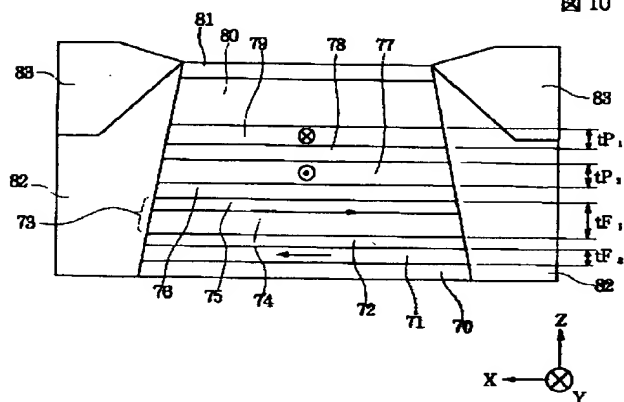
[Drawing 9]

図 9



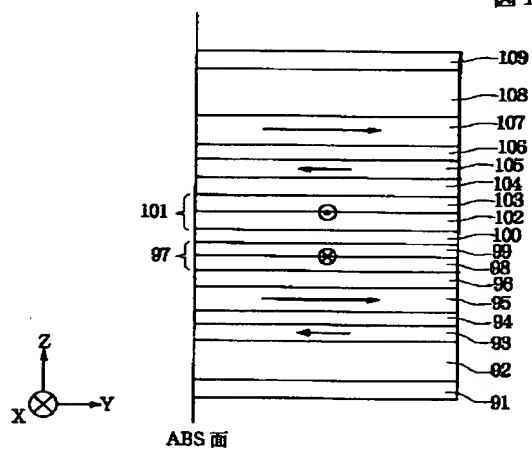
[Drawing 10]

図 10



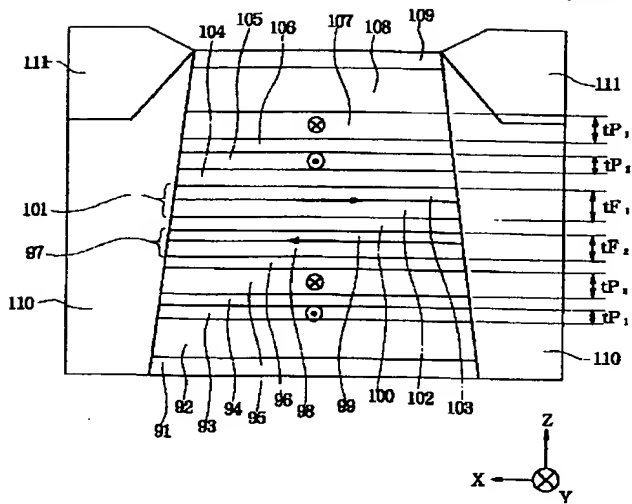
[Drawing 11]

図 11



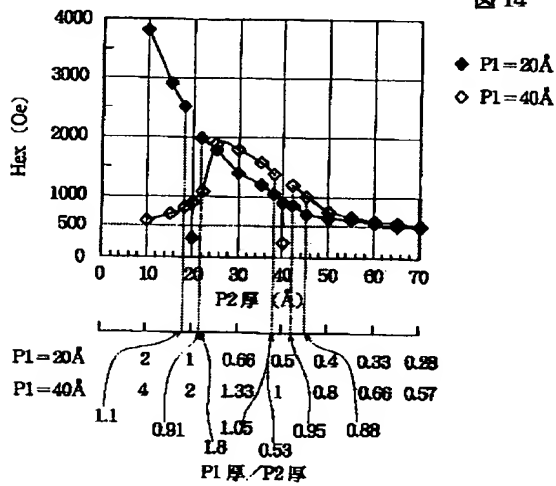
[Drawing 12]

図 12



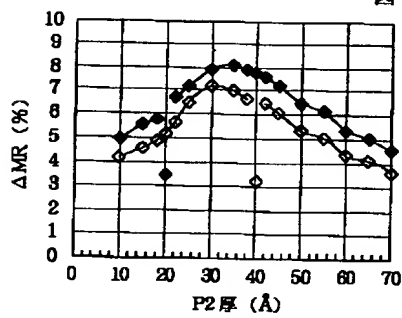
[Drawing 14]

図 14



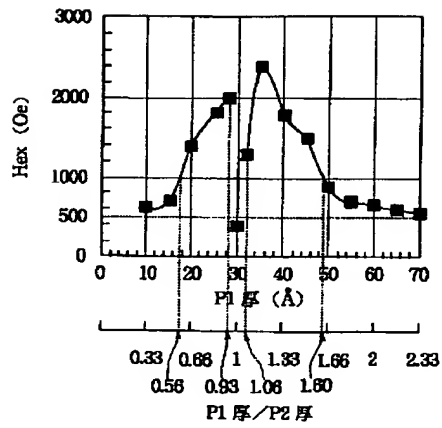
[Drawing 15]

図 15



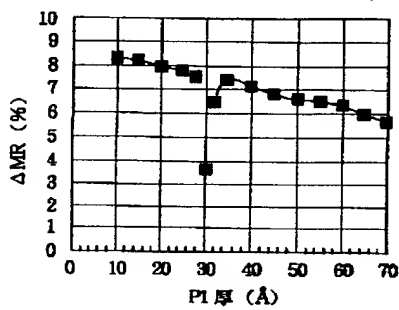
[Drawing 16]

図 16



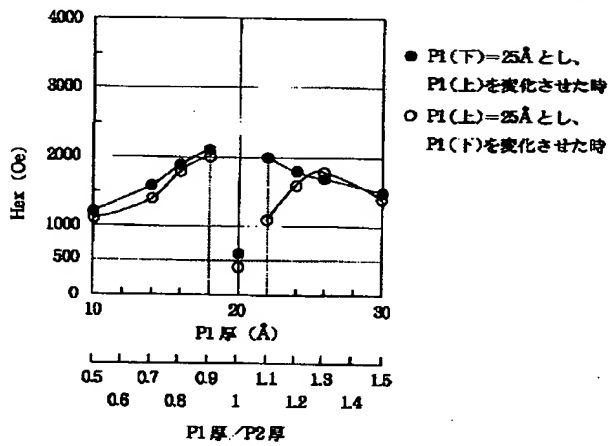
[Drawing 17]

図 17



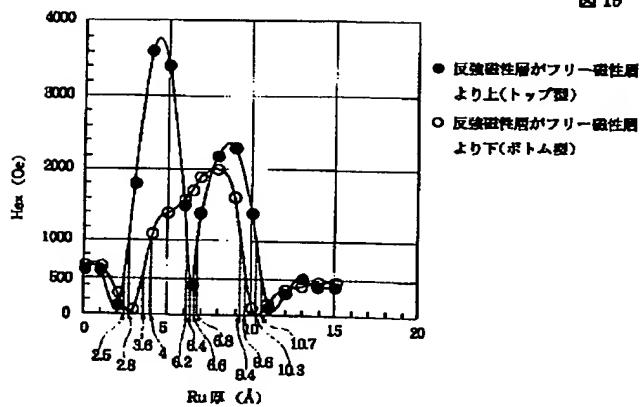
[Drawing 18]

図 18



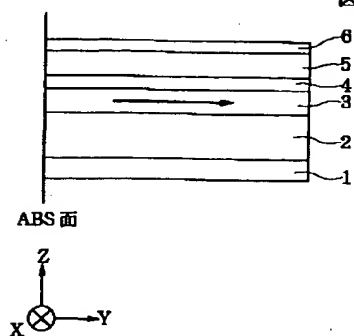
[Drawing 19]

図 19



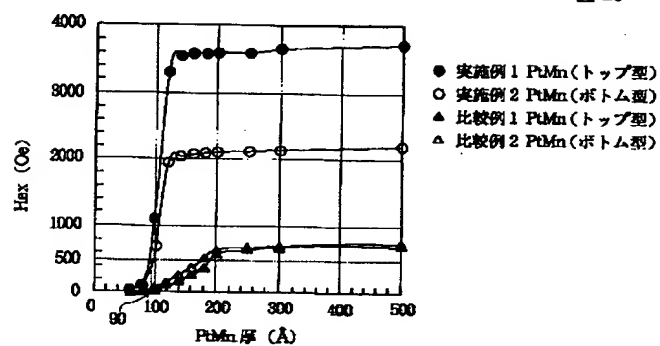
[Drawing 28]

図 28



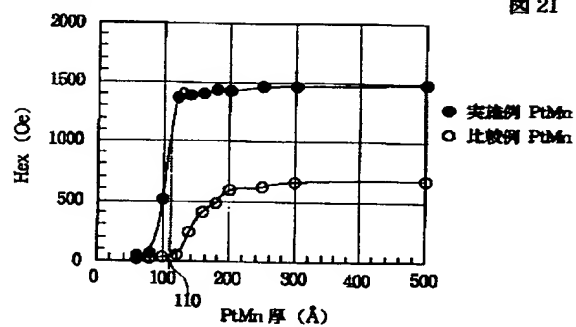
[Drawing 20]

図 20



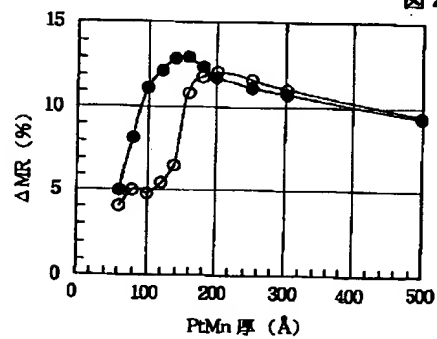
[Drawing 21]

図 21



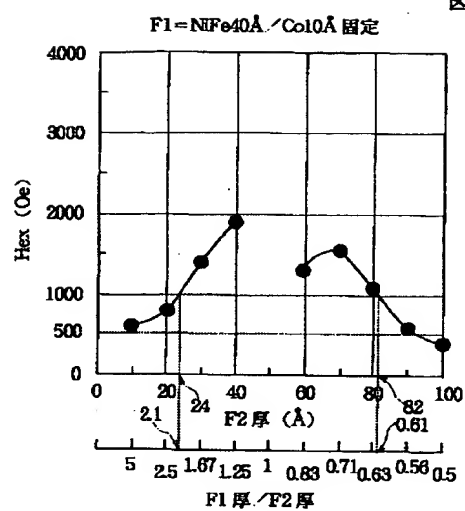
[Drawing 22]

図 22



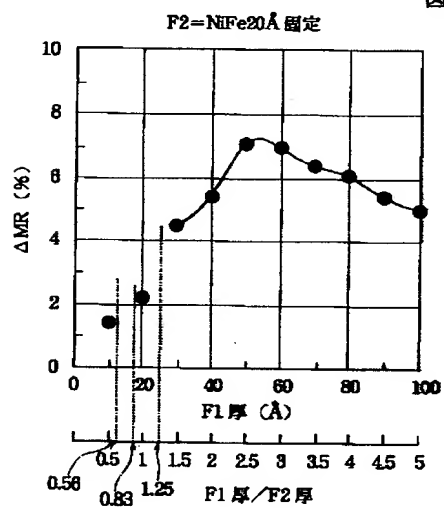
[Drawing 23]

図 23



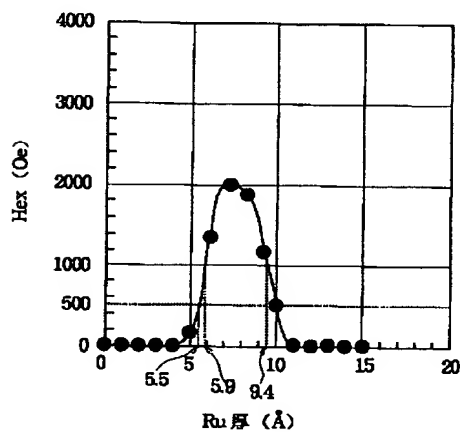
[Drawing 24]

図 24



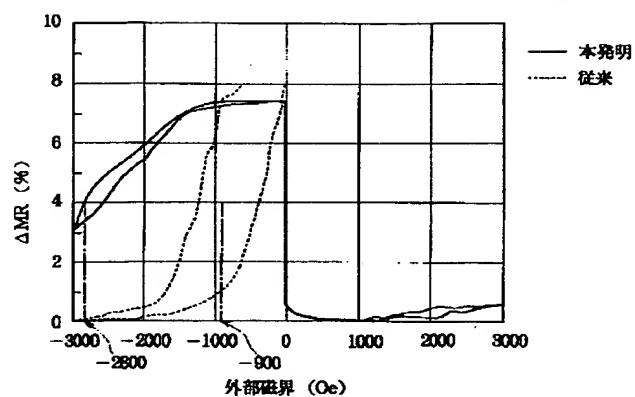
[Drawing 25]

図 25



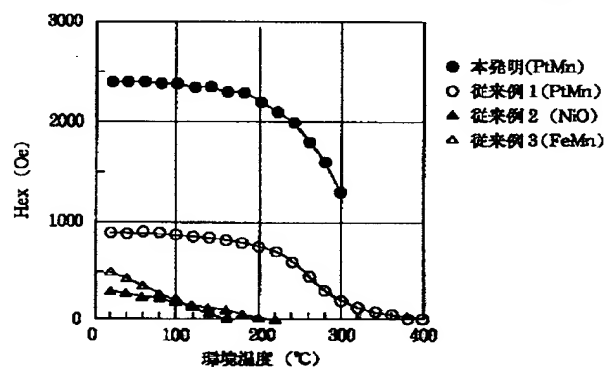
[Drawing 26]

図 26



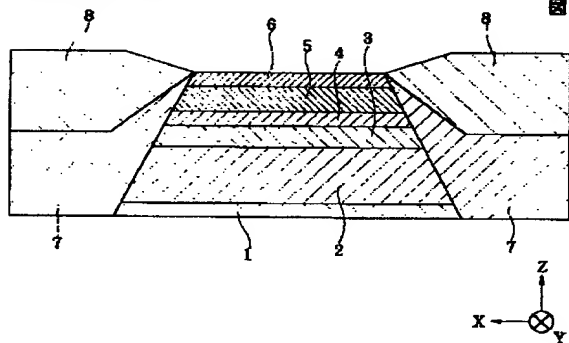
[Drawing 27]

図 27



[Drawing 29]

図 29



[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2000-40211
(P2000-40211A)

(43) 公開日 平成12年2月8日 (2000.2.8)

(51) Int.Cl.
G11B 5/39

識別記号

F I
G11B 5/39

キーワード (参考)
5D034

審査請求 有 請求項の数13 OL (全 44 頁)

(21) 出願番号 特願平10-204767

(22) 出願日 平成10年7月21日 (1998.7.21)

(71) 出願人 000010098

アルプス電気株式会社
東京都大田区雪谷大塚町1番7号

(72) 発明者 斎藤 正路

東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプ
ス電気株式会社内

(72) 発明者 長谷川 直也

東京都大田区雪谷大塚町1番7号 アルプ
ス電気株式会社内

(74) 代理人 100085453

弁理士 野▲崎▼ 照夫

Fターム (参考) 5D034 BA11 BB03 CA04 DA07

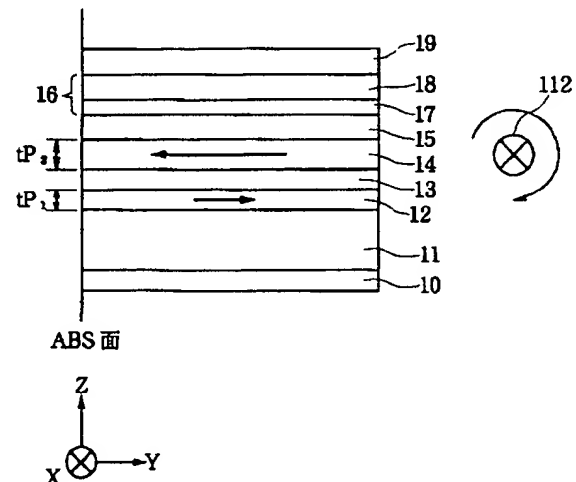
(54) 【発明の名称】 スピンバルブ型薄膜素子及びこのスピンバルブ型薄膜素子を用いた薄膜磁気ヘッド

(57) 【要約】

【課題】 センス電流は、導電層から主に非磁性導電層を中心にして流れるが、センス電流を流すことにより、右ネジの法則によってセンス電流磁界が形成され、このセンス電流磁界が、前記固定磁性層の固定磁化に影響を与えるといった問題がある。

【解決手段】 第1の固定磁性層12の磁気モーメントは第2の固定磁性層14の磁気モーメントよりも大きく、前記第1の固定磁性層12の磁気モーメントは図示左方向を向いている。このため第1の固定磁性層12と第2の固定磁性層14の合成磁気モーメントは図示左方向を向いている。このためセンス電流112を図示X方向に流し、紙面に対し右回りのセンス電流磁界を発生させることにより、前記センス電流磁界の方向と、合成磁気モーメントの方向とが一致し、前記第1と第2の固定磁性層の磁化状態の安定性を向上できる。

図 1



【特許請求の範囲】

【請求項1】 反強磁性層と、この反強磁性層と接して形成され、前記反強磁性層との交換結合磁界により磁化方向が固定される固定磁性層と、前記固定磁性層に非磁性導電層を介して形成され、前記固定磁性層の磁化方向と交叉する方向に磁化が揃えられるフリー磁性層とを有し、前記固定磁性層の固定磁化と交叉する方向にセンス電流が流されることにより、固定磁性層の固定磁化とフリー磁性層の変動磁化との関係によって変化する電気抵抗が検出されるスピバルブ型薄膜素子において、前記固定磁性層は、非磁性中間層を介して、反強磁性層に接する第1の固定磁性層と、非磁性導電層に接する第2の固定磁性層の2層に分断されて形成されており、前記センス電流は、前記センス電流を流すことによって、第1の固定磁性層／非磁性中間層／第2の固定磁性層の部分に形成されるセンス電流磁界の方向と、前記第1の固定磁性層の磁気モーメント（飽和磁化 M_s ・膜厚 t ）と、第2の固定磁性層の磁気モーメントを足合わせて形成される合成磁気モーメントの方向とが、同一方向となるような方向に流されることを特徴とするスピバルブ型薄膜素子。

【請求項2】 前記スピバルブ型薄膜素子は、反強磁性層、第1の固定磁性層、非磁性中間層、第2の固定磁性層、非磁性導電層、及びフリー磁性層が一層ずつ形成されたシングルスピンバルブ型薄膜素子であり、前記第1の固定磁性層の磁気モーメントが第2の固定磁性層の磁気モーメントよりも大きい場合、前記センス電流は、前記センス電流を流すことによって、第1の固定磁性層／非磁性中間層／第2の固定磁性層の部分に形成されるセンス電流磁界の方向が、前記第1の固定磁性層の磁気モーメントの方向と同一方向になるような方向に流される請求項1記載のスピバルブ型薄膜素子。

【請求項3】 前記スピバルブ型薄膜素子は、反強磁性層、第1の固定磁性層、非磁性中間層、第2の固定磁性層、非磁性導電層、及びフリー磁性層が一層ずつ形成されたシングルスピンバルブ型薄膜素子であり、前記第1の固定磁性層の磁気モーメントが第2の固定磁性層の磁気モーメントよりも小さい場合、前記センス電流は、前記センス電流を流すことによって、第1の固定磁性層／非磁性中間層／第2の固定磁性層の部分に形成されるセンス電流磁界の方向が、前記第2の固定磁性層の磁気モーメントの方向と同一方向になるような方向に流される請求項1記載のスピバルブ型薄膜素子。

【請求項4】 前記フリー磁性層は、非磁性中間層を介して2層に分断されて形成されている請求項2または請求項3記載のスピバルブ型薄膜素子。

【請求項5】 前記2層に分断されたフリー磁性層の間に形成されている非磁性中間層は、Ru、Rh、Ir、Cr、Re、Cuのうち1種あるいは2種以上の合金で

子。

【請求項6】 前記スピバルブ型薄膜素子は、フリー磁性層を中心にしてその上下に積層された非磁性導電層と、一方の前記非磁性導電層の上及び他方の非磁性導電層の下に積層された第2の固定磁性層／非磁性中間層／第1の固定磁性層の3層と、一方の第1の固定磁性層の上及び他方の第1の固定磁性層の下に積層された反強磁性層とを有するデュアルスピバルブ型薄膜素子であり、前記フリー磁性層の上側に積層された第1の固定磁性層と第2の固定磁性層の合成磁気モーメントと、フリー磁性層の下側に積層された第1の固定磁性層と第2の固定磁性層の合成磁気モーメントが、互いに逆方向を向いており、前記センス電流は、前記センス電流を流すことによって、第1の固定磁性層／非磁性中間層／第2の固定磁性層の部分に形成されるセンス電流磁界の方向が、フリー磁性層の上下に形成された合成磁気モーメントの方向と同一方向となるような方向に流される請求項1記載のスピバルブ型薄膜素子。

【請求項7】 フリー磁性層よりも上側に形成された第1の固定磁性層の磁気モーメントは、フリー磁性層よりも上側に形成された第2の固定磁性層の磁気モーメントよりも大きく、且つ、フリー磁性層よりも下側に形成された第1の固定磁性層の磁気モーメントはフリー磁性層よりも下側に形成された第2の固定磁性層の磁気モーメントよりも小さくなっており、しかも、フリー磁性層の上下に形成された第1の固定磁性層の固定磁化は共に同一方向を向いている請求項6記載のスピバルブ型薄膜素子。

【請求項8】 フリー磁性層よりも上側に形成された第1の固定磁性層の磁気モーメントはフリー磁性層よりも上側に形成された第2の固定磁性層の磁気モーメントよりも小さく、且つ、フリー磁性層よりも下側に形成された第1の固定磁性層の磁気モーメントはフリー磁性層よりも下側に形成された第2の固定磁性層の磁気モーメントよりも大きくなっており、しかも、フリー磁性層の上下に形成された第1の固定磁性層の固定磁化は共に同一方向を向いている請求項6記載のスピバルブ型薄膜素子。

【請求項9】 前記反強磁性層は、PtMn合金で形成される請求項1ないし請求項8のいずれかに記載のスピバルブ型薄膜素子。

【請求項10】 前記反強磁性層は、X-Mn（ただしXは、Pd、Ir、Rh、Ruのいずれか1種または2種以上の元素である）で形成される請求項1ないし請求項8のいずれかに記載のスピバルブ型薄膜素子。

【請求項11】 前記反強磁性層は、Pt-Mn-X'（ただしX'は、Pd、Ir、Rh、Ru、Au、Agのいずれか1種または2種以上の元素である）で形成される請求項1ないし請求項8のいずれかに記載のスピ

【請求項12】 第1の固定磁性層と第2の固定磁性層の間に形成される非磁性中間層は、Ru、Rh、Ir、Cr、Re、Cuのうち1種あるいは2種以上の合金で形成される請求項1ないし請求項11のいずれかに記載のスピンバルブ型薄膜素子。

【請求項13】 請求項1ないし請求項12のいずれかに記載されたスピンバルブ型薄膜素子の上下に、ギャップ層を介してシールド層が形成されていることを特徴とする薄膜磁気ヘッド。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、固定磁性層の固定磁化方向と外部磁界の影響を受けるフリー磁性層の磁化の方向との関係で電気抵抗が変化するスピンバルブ型薄膜素子に係り、特に、センス電流を適正な方向に流すことにより、固定磁性層の磁化をより安定した状態に保つことが可能なスピンバルブ型薄膜素子及びこのスピンバルブ型薄膜素子を用いた薄膜磁気ヘッドに関する。

【0002】

【従来の技術】図28は、従来のスピンバルブ型薄膜素子を模式的に示した横断面図、図29は、図28に示すスピンバルブ型薄膜素子を記録媒体との対向面側から見た断面図である。符号1は例えばTa（タンタル）などで形成された下地層であり、この下地層1の上に反強磁性層2が形成され、さらに前記反強磁性層2の上に固定磁性層3が形成されている。前記固定磁性層3は前記反強磁性層2に接して形成されることにより、前記固定磁性層3と反強磁性層2との界面にて交換結合磁界（交換異方性磁界）が発生し、前記固定磁性層の磁化は、例えば図示Y方向に固定される。前記固定磁性層3の上には、Cuなどで形成された非磁性導電層4が形成され、さらに前記非磁性導電層4の上には、フリー磁性層5が形成されている。なお符号6は、Taなどで形成された保護層である。

【0003】図29に示すように、下地層1から保護層6までの積層体の両側には、例えばCo-Pt（コバルト-白金）合金で形成されたハードバイアス層7、7、及び導電層8、8が形成されており、例えば、前記ハードバイアス層7が図示X方向に磁化されていることで、前記フリー磁性層5の磁化が図示X方向に揃えられている。これにより、前記フリー磁性層5の変動磁化と前記固定磁性層3の固定磁化とが交叉する関係となっている。なお符号6は、Taなどで形成された保護層である。

【0004】このスピンバルブ型薄膜素子では、前記導電層8から、センス電流が、図示X方向あるいは図示X方向と逆方向に、主に非磁性導電層4を中心にして流れる。そして、ハードディスクなどの記録媒体からの洩れ磁界により、図示X方向に揃えられた前記フリー磁性層5の磁化が変動すると、図示Y方向に固定された固定磁

性層3の固定磁化との関係で電気抵抗が変化し、この電気抵抗値の変化に基づく電圧変化により、記録媒体からの洩れ磁界が検出される。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】ところで、前述したようにセンス電流は、導電層8から主に比抵抗の小さい非磁性導電層4を中心にして流れるが、センス電流を流すことにより、右ネジの法則によってセンス電流磁界が形成され、このセンス電流磁界が、前記固定磁性層3の固定磁化に影響を与えるといった問題がある。例えば図28に示すように、固定磁性層3の磁化は図示Y方向に向けられているが、センス電流を流すことによって形成されるセンス電流磁界が、前記固定磁性層3の部分で、図示Y方向と逆方向に向けられていた場合、前記固定磁性層3の固定磁化方向とセンス電流磁界の方向とが一致しないために、前記固定磁化がセンス電流磁界の影響を受けてゆらぎ、磁化状態が不安定化するという問題がある。

【0006】特に、前記反強磁性層2に、NiOやFeMn合金など、固定磁性層3との界面で発生する交換結合磁界（交換異方性磁界）が小さく、またブロッキング温度が低い反強磁性材料を使用した場合にあっては、固定磁性層3の固定磁化方向とセンス電流磁界方向とが逆方向の関係になっていると、前記固定磁性層3の固定磁化の劣化が激しく、さらには、前記固定磁化が反転してしまうなどの破壊につながる。

【0007】近年では、高記録密度化に対応するため、センス電流を多く流す傾向にあるが、1mAのセンス電流を流すことにより、約30（Oe）のセンス電流磁界が発生し、さらに素子温度が約15℃上昇することが判っており、このため前記センス電流を数十mA流した場合にあっては、急激な素子温度上昇と、膨大なセンス電流磁界が発生することになる。このため固定磁性層3の固定磁化の熱的安定性を向上させるために、ブロッキング温度が高く、且つ固定磁性層3との界面で大きな交換結合磁界（交換異方性磁界）を発生する反強磁性材料を選択することと、前記センス電流を適正な方向に流し、センス電流磁界によって、固定磁性層3の磁化が破壊されないようにする必要がある。

【0008】本発明は上記従来の問題点を解決するためのものであり、特に固定磁性層の構造、及び反強磁性層の材質を改良し、しかもセンス電流を流す方向を適正な方向に制御することにより、前記固定磁性層の磁化状態を熱的に安定した状態に保つことができるスピンバルブ型薄膜素子及びこのスピンバルブ型薄膜素子を用いた薄膜磁気ヘッドを提供することを目的としている。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明は、反強磁性層と、この反強磁性層と接して形成され、前記反強磁性層との交換結合磁界により磁化方向が固定される固定磁性

層と、前記固定磁性層に非磁性導電層を介して形成され、前記固定磁性層の磁化方向と交叉する方向に磁化が揃えられるフリー磁性層とを有し、前記固定磁性層の固定磁化と交叉する方向にセンス電流が流されることにより、固定磁性層の固定磁化とフリー磁性層の変動磁化との関係によって変化する電気抵抗が検出されるスピバルブ型薄膜素子において、前記固定磁性層は、非磁性中間層を介して、反強磁性層に接する第1の固定磁性層と、非磁性導電層に接する第2の固定磁性層の2層に分断されて形成されており、前記センス電流は、前記センス電流を流すことによって、第1の固定磁性層／非磁性中間層／第2の固定磁性層の部分に形成されるセンス電流磁界の方向と、前記第1の固定磁性層の磁気モーメント（飽和磁化 M_s ・膜厚 t ）と、第2の固定磁性層の磁気モーメントを足し合わせて形成される合成磁気モーメントの方向とが、同一方向となるような方向に流されることを特徴とするものである。

【0010】また本発明では、前記スピバルブ型薄膜素子は、反強磁性層、第1の固定磁性層、非磁性中間層、第2の固定磁性層、非磁性導電層、及びフリー磁性層が一層ずつ形成されたシングルスピンバルブ型薄膜素子であり、前記第1の固定磁性層の磁気モーメントが第2の固定磁性層の磁気モーメントよりも大きい場合、前記センス電流は、前記センス電流を流すことによって、第1の固定磁性層／非磁性中間層／第2の固定磁性層の部分に形成されるセンス電流磁界の方向が、前記第1の固定磁性層の磁気モーメントの方向と同一方向になるような方向に流される必要がある。

【0011】あるいは、前記スピバルブ型薄膜素子は、反強磁性層、第1の固定磁性層、非磁性中間層、第2の固定磁性層、非磁性導電層、及びフリー磁性層が一層ずつ形成されたシングルスピンバルブ型薄膜素子であり、前記第1の固定磁性層の磁気モーメントが第2の固定磁性層の磁気モーメントよりも小さい場合、前記センス電流は、前記センス電流を流すことによって、第1の固定磁性層／非磁性中間層／第2の固定磁性層の部分に形成されるセンス電流磁界の方向が、前記第2の固定磁性層の磁気モーメントの方向と同一方向になるような方向に流される必要がある。また本発明では、前記フリー磁性層は、非磁性中間層を介して2層に分断されて形成されていることが好ましい。さらに、前記2層に分断されたフリー磁性層の間に形成されている非磁性中間層は、Ru、Rh、Ir、Cr、Re、Cuのうち1種あるいは2種以上の合金で形成されていることが好ましい。

【0012】また本発明では、前記スピバルブ型薄膜素子は、フリー磁性層を中心にしてその上下に積層された非磁性導電層と、一方の前記非磁性導電層の上及び他方の非磁性導電層の下に積層された第2の固定磁性層／

の固定磁性層の上及び他方の第1の固定磁性層の下に積層された反強磁性層とを有するデュアルスピンバルブ型薄膜素子であり、前記フリー磁性層の上側に積層された第1の固定磁性層と第2の固定磁性層の合成磁気モーメントと、フリー磁性層の下側に積層された第1の固定磁性層と第2の固定磁性層の合成磁気モーメントが、互いに逆方向を向いており、前記センス電流は、前記センス電流を流すことによって、第1の固定磁性層／非磁性中間層／第2の固定磁性層の部分に形成されるセンス電流磁界の方向が、フリー磁性層の上下に形成された合成磁気モーメントの方向と同一方向となるような方向に流される必要がある。

【0013】上述したデュアルスピンバルブ型薄膜素子において、具体的な第1の固定磁性層及び第2の固定磁性層の磁気モーメントの大きさ等については、フリー磁性層よりも上側に形成された第1の固定磁性層の磁気モーメントはフリー磁性層よりも上側に形成された第2の固定磁性層の磁気モーメントよりも大きく、且つ、フリー磁性層よりも下側に形成された第1の固定磁性層の磁気モーメントはフリー磁性層よりも下側に形成された第2の固定磁性層の磁気モーメントよりも小さくなっており、しかも、フリー磁性層の上下に形成された第1の固定磁性層の固定磁化は共に同一方向を向いている必要がある。あるいは、フリー磁性層よりも上側に形成された第1の固定磁性層の磁気モーメントはフリー磁性層よりも上側に形成された第2の固定磁性層の磁気モーメントよりも小さく、且つ、フリー磁性層よりも下側に形成された第1の固定磁性層の磁気モーメントはフリー磁性層よりも下側に形成された第2の固定磁性層の磁気モーメントよりも大きくなっており、しかも、フリー磁性層の上下に形成された第1の固定磁性層の固定磁化は共に同一方向を向いている必要がある。

【0014】本発明では、前記反強磁性層は、PtMn合金で形成されることが好ましい。あるいは、前記反強磁性層は、X-Mn（ただしXは、Pd、Ir、Rh、Ruのいずれか1種または2種以上の元素である）、または、Pt-Mn-X'（ただしX'は、Pd、Ir、Rh、Ru、Au、Agのいずれか1種または2種以上の元素である）で形成されていてもよい。また本発明では、第1の固定磁性層と第2の固定磁性層の間に形成される非磁性中間層は、Ru、Rh、Ir、Cr、Re、Cuのうち1種あるいは2種以上の合金で形成されていることが好ましい。また本発明における薄膜磁気ヘッドは、前述したピンバルブ型薄膜素子の上下に、ギャップ層を介してシールド層が形成されていることを特徴とするものである。

【0015】本発明では、スピバルブ型薄膜素子を構成する固定磁性層が、2層に分断されており、2層に分断された固定磁性層の間に非磁性中間層が形成されてい

状態に磁化されており、しかも一方の固定磁性層の磁気モーメントの大きさと、他方の固定磁性層の磁気モーメントの大きさが異なる、いわゆるフェリ状態となっている。2層の固定磁性層間に発生する交換結合磁界（RKKY相互作用）は、1000（Oe）から5000（Oe）と非常に大きいため、2層の固定磁性層は非常に安定した状態で反平行に磁化された状態となっている。

【0016】ところで反平行（フェリ状態）に磁化された一方の固定磁性層は、反強磁性層に接して形成されており、この反強磁性層に接する側の固定磁性層（以下、第1の固定磁性層と称す）は、前記反強磁性層との界面で発生する交換結合磁界（交換異方性磁界）によって、例えば記録媒体との対向面から離れる方向（ハイト方向）に磁化が固定される。これにより、前記第1の固定磁性層と非磁性中間層を介して対向する固定磁性層（以下、第2の固定磁性層と称す）の磁化は、前記第1の固定磁性層の磁化と反平行の状態に固定される。従来では、反強磁性層と固定磁性層との2層で形成していた部分を、本発明では、反強磁性層／第1の固定磁性層／非磁性中間層／第2の固定磁性層の4層で形成することによって、第1の固定磁性層と第2の固定磁性層の磁化状態を外部磁界に対し非常に安定した状態に保つことが可能となる。

【0017】ところで近年では、高記録密度化に伴い、記録媒体の回転数の増加による装置内温度の上昇や、センス電流量の増加による温度上昇及び、センス電流磁界の増大によって、前記第1の固定磁性層と第2の固定磁性層の磁化状態が不安定化する恐れがある。前記センス電流は、第1の固定磁性層と第2の固定磁性層の磁化方向と交叉する方向（フリー磁性層の磁化方向と同一方向、あるいは逆方向）に流されるが、前記センス電流を流すことにより、右ネジの法則によって、センス電流磁界が発生し、このセンス電流磁界は、第1の固定磁性層／非磁性中間層／第2の固定磁性層の部分において、前記第1の固定磁性層（あるいは第2の固定磁性層）の磁化方向と同一方向かあるいは逆方向に侵入してくる。

【0018】前述したように、前記第1の固定磁性層の磁気モーメントと第2の固定磁性層の磁気モーメントは異なる値で形成されており、これによって、前記第1の固定磁性層の磁化と第2の固定磁性層の磁化は反平行状態に磁化された状態となっているが、本発明では、前記第1の固定磁性層と第2の固定磁性層の磁気モーメントの大きさの相違を利用して、センス電流を適正な方向に流し、センス電流磁界によって、第1の固定磁性層と第2の固定磁性層の磁化状態を、熱的に安定した状態にできるようにしている。具体的には、シングルスピンバルブ型薄膜素子において、第1の固定磁性層の磁気モーメントが、第2の固定磁性層の磁気モーメントよりも大きい場合、第1の固定磁性層の磁気モーメントと第2

の磁気モーメントを足し合わせて求めることができる合成磁気モーメントは、第1の固定磁性層の磁気モーメントと同一方向に向いている。

【0019】そして本発明では、センス電流を流すことによって、第1の固定磁性層／非磁性中間層／第2の固定磁性層の部分に形成されるセンス電流磁界の方向と、前記合成磁気モーメントの方向とが一致するように、センス電流を流す方向を調整し、第1の固定磁性層と第2の固定磁性層の磁化状態を熱的に安定した状態に保つことが可能になる。

【0020】さらに本発明では、デュアルスピンバルブ型薄膜素子において、フリー磁性層の上下に形成される合成磁気モーメントを互いに逆方向になるように、第1の固定磁性層と第2の固定磁性層の磁気モーメント等を調整し、センス電流を流すことによって、フリー磁性層の上下における第1の固定磁性層／非磁性中間層／第2の固定磁性層の部分に形成されるセンス電流磁界の方向と、前記合成磁気モーメントの方向とを一致させ、これによって、第1の固定磁性層と第2の固定磁性層の磁化状態を熱的に安定した状態に保つことが可能になる。

【0021】また本発明では、センス電流を流す方向の制御の他に様々な条件によって、第1の固定磁性層と第2の固定磁性層の磁化状態の安定性を向上させている。まず第1に反強磁性層と第1の固定磁性層との界面で発生する交換結合磁界（交換異方性磁界）を大きくすることである。前述したように反強磁性層との界面で発生する交換結合磁界（交換異方性磁界）によって第1の固定磁性層の磁化は、ある一定方向に固定されるが、この交換結合磁界が弱いと、第1の固定磁性層の固定磁化が安定せず、外部磁界などにより変動しやすくなってしまふ。このため反強磁性層との界面で発生する交換結合磁界（交換異方性磁界）は大きいことが好ましく、本発明では、第1の固定磁性層との界面で大きい交換結合磁界を得ることができる反強磁性層としてPtMn合金を提示することができる。またPtMn合金に代えて、X-Mn（XはPd, Ir, Rh, Ru）合金やPt-Mn-X'（X'は、Pd, Ir, Rh, Ru, Au, Ag）合金を使用してもよい。

【0022】これら反強磁性材料は、従来から反強磁性材料として使用されているNiO、FeMn合金やNiMn合金などに比べて、交換結合磁界が大きく、またブロッキング温度が高く、さらに耐食性に優れているなど、反強磁性材料として優れた特性を有している。図26は、反強磁性層にPtMn合金を使用し、固定磁性層を非磁性中間層を介して第1の固定磁性層と第2の固定磁性層の2層に分断した本発明におけるスピンバルブ型薄膜素子と、固定磁性層を単層で形成した従来におけるスピンバルブ型薄膜素子とのR-H曲線である。

【0023】本発明におけるスピンバルブ型薄膜素子の膜構成は、下から、Si基板／アルミナ／Ta（30）

／反強磁性層；PtMn (200)／第1の固定磁性層；Co (25)／非磁性中間層；Ru (7)／第2の固定磁性層；Co (20)／Cu (20)／Co (10)／NiFe (40)／Ta (30)であり、従来におけるスピバルブ型薄膜素子の膜構成は、下から、Si基板／アルミナ／Ta (30)／反強磁性層；PtMn (300)／固定磁性層；Co (25)／Cu (20)／Co (10)／NiFe (40)／Ta (30)である。なお括弧内の数値は膜厚を示しており、単位はオングストロームである。なお本発明及び従来におけるスピバルブ型薄膜素子共に、成膜後、200 (Oe)の磁場を印加しながら、260℃で4時間の熱処理を施した。

【0024】図26に示すように、本発明におけるスピバルブ型薄膜素子の ΔMR (抵抗変化率)は、最大値で7～8%の間であり、負の外部磁界を与えることにより、前記 ΔMR は低下していくが、従来におけるスピバルブ型薄膜素子の ΔMR の落ち方に比べて、本発明における ΔMR の落ち方は緩やかであることがわかる。ここで本発明では、 ΔMR の最大値の半分の値になる時の外部磁界の大きさをスピバルブ型薄膜素子が発生する交換結合磁界 (H_{ex})と定める。

【0025】図26に示すように、従来におけるスピバルブ型薄膜素子では、最大 ΔMR が、約8%であり、前記 ΔMR が半分になるときの外部磁界 (交換結合磁界 (H_{ex}))は、絶対値で約900 (Oe)であることがわかる。これに対し、本発明におけるスピバルブ型薄膜素子では、最大 ΔMR が、約7.5%であり、従来に比べて若干低下するものの、前記 ΔMR が半分になるときの外部磁界 (交換結合磁界 (H_{ex}))は、絶対値で約2800 (Oe)であり、従来に比べて非常に大きくなるがわかる。

【0026】このように、固定磁性層を2層に分断した本発明におけるスピバルブ型薄膜素子にあっては、固定磁性層を1層で形成した従来のスピバルブ型薄膜素子に比べて、交換結合磁界 (H_{ex})を飛躍的に大きくでき、固定磁性層の磁化の安定性を従来に比べて向上させることができる。また ΔMR についても本発明では従来に比べてあまり低下せず、高い ΔMR を保つことができるがわかる。

【0027】次に図27は、4種類のスピバルブ型薄膜素子を使用して、環境温度と交換結合磁界との関係を示すグラフである。まず使用する1種目のスピバルブ型薄膜素子は、反強磁性層にPtMn合金を用い、固定磁性層を2層に分断した本発明におけるスピバルブ型薄膜素子であり、膜構成としては、下から、Si基板／アルミナ／Ta (30)／反強磁性層；PtMn (200)／第1の固定磁性層；Co (25)／非磁性中間層；Ru (7)／第2の固定磁性層；Co (20)／C

(30)である。2種類目は、反強磁性層にPtMn合金を使用し、固定磁性層を単層で形成した従来例1であり、膜構成としては、下から、Si基板／アルミナ／Ta (30)／反強磁性層；PtMn (300)／固定磁性層；Co (25)／Cu (25)／Co (10)／NiFe (70)／Ta (30)である。3種類目は、反強磁性層にNiOを使用し、固定磁性層を単層で形成した従来例2であり、膜構成としては、下から、Si基板／アルミナ／反強磁性層；NiO (500)／固定磁性層；Co (25)／Cu (25)／Co (10)／NiFe (70)／Ta (30)である。4種類目は、反強磁性層にFeMn合金を使用し、固定磁性層を単層で形成した従来例3であり、膜構成としては、下から、Si基板／アルミナ／Ta (30)／NiFe (70)／Co (10)／Cu (25)／固定磁性層；Co (25)／反強磁性層；FeMn (150)／Ta (30)である。なお、上述した4種類全ての膜構成の括弧内の数値は膜厚を示しており、単位はオングストロームである。

【0028】また反強磁性層にPtMnを用いた本発明及び従来例1では、成膜後、200 (Oe)の磁場を印加しながら260℃で4時間の熱処理を施している。また、反強磁性層にNiO、FeMnを使用した従来例2、3では成膜後、熱処理を施していない。

【0029】図27に示すように本発明におけるスピバルブ型薄膜素子では、環境温度が約20℃のとき交換結合磁界 (H_{ex})は約2500 (Oe)と非常に高くなっていることがわかる。これに対し、反強磁性層にNiOを用いた従来例2、及び反強磁性層にFeMnを用いた従来例3では、環境温度が約20℃でも交換結合磁界 (H_{ex})が約500 (Oe)以下と低くなっている。また反強磁性層にPtMnを用い、固定磁性層を単層で形成した従来例1にあっては、環境温度が約20℃で1000 (Oe)程度の交換結合磁界を発生しており、反強磁性層にNiO (従来例2)、FeMn (従来例3)を用いるよりも、より大きな交換結合磁界を得られることがわかる。

【0030】特開平9-16920号公報では、反強磁性層にNiOを使用し、固定磁性層を非磁性中間層を介して2層で形成したスピバルブ型薄膜素子のR-H曲線が図8に示されている。公報の図8によれば、600 (Oe)の交換結合磁界 (H_{ex})を得られるとしているが、この数値は、反強磁性層にPtMnを使用し、固定磁性層を単層で形成した場合の交換結合磁界 (約1000 (Oe)；従来例1)に比べて低いことがわかる。すなわち、反強磁性層にNiOを使用した場合にあっては、固定磁性層を2層に分断し、前記2層の固定磁性層の磁化をフェリ状態にしても、反強磁性層にPtMnを使用し、且つ固定磁性層を単層で形成する場合よりも、交換結合磁界は低くなってしまうため、反強磁性層にP

を得ることができる点で好ましいとわかる。

【0031】また図27に示すように、反強磁性層にNiOあるいはFeMn合金を使用した場合、環境温度が約200℃になると、交換結合磁界は0(Oe)になってしまうことがわかる。これは、前記NiO及びFeMnのブロッキング温度が約200℃程度と低いためである。これに対し反強磁性層にPtMn合金を使用した従来例1では、環境温度が約400℃になって、交換結合磁界が0(Oe)になっており、前記PtMn合金を使用すると、固定磁性層の磁化状態を熱的に非常に安定した状態に保つことがわかる。

【0032】ブロッキング温度は反強磁性層として使用される材質に支配されるので、図27に示す本発明におけるスピナルブ型薄膜素子においても、約400℃になると、交換結合磁界は0(Oe)になると考えられるが、本発明のように反強磁性層にPtMn合金を使用した場合は、NiOなどに比べ高いブロッキング温度を得ることが可能であり、しかも固定磁性層を2層に分断して前記2層の固定磁性層の磁化をフェリ状態にすれば、ブロッキング温度に到達するまでの間に非常に大きい交換結合磁界を得ることができ、前記2層の固定磁性層の磁化状態を熱的に安定した状態に保つことが可能となる。

【0033】また本発明では第1の固定磁性層と第2の固定磁性層との間に形成されている非磁性中間層として、Ru、Rh、Ir、Cr、Re、Cuのうち1種あるいは2種以上を使用し、前記非磁性中間層の膜厚を、反強磁性層がフリー磁性層よりも下側に形成される場合と、上側に形成される場合とで変えており、適正な範囲内の膜厚で前記非磁性中間層を形成することにより、交換結合磁界(Hex)を大きくすることができる。なお前記非磁性中間層の適切な膜厚値については、後でグラフを参照しながら詳述する。

【0034】さらに本発明によれば、固定磁性層を2層に分断して形成すれば、PtMn合金などで形成される反強磁性層の膜厚を薄くしても大きい交換結合磁界(Hex)を得ることが可能であり、スピナルブ型薄膜素子の膜構成の中で最も厚い膜厚を有していた反強磁性層を薄くできることで、前記スピナルブ型薄膜素子全体の総合膜厚を薄くできる。反強磁性層を薄く形成することで、前記スピナルブ型薄膜素子の上下に形成されるギャップ層の膜厚を、絶縁性を十分に保つことができる程度に厚くしても、スピナルブ型薄膜素子の下側に形成されたギャップ層から、スピナルブ型薄膜素子の上下に形成されたギャップ層までの距離、すなわちギャップ長を短くでき、狭ギャップ化に対応することが可能となっている。

【0035】ところで本発明のように、固定磁性層を、非磁性中間層を介して第1の固定磁性層と第2の固定磁性層の2層に分断した場合、前記第1の固定磁性層と第

2の固定磁性層の膜厚を同じ値で形成すると、交換結合磁界(Hex)、及びΔMR(抵抗変化率)が極端に低下することが実験によりわかった。第1の固定磁性層と第2の固定磁性層との膜厚を同じ膜厚で形成すると、前記第1の固定磁性層と第2の固定磁性層との磁化状態が反平行(フェリ状態)になり難くなるためであると推測され、前記第1の固定磁性層と第2の固定磁性層の磁化状態が反平行状態でないために、フリー磁性層の変動磁化との相対角度を適正に制御できなくなってしまう。

【0036】そこで本発明では、前記第1の固定磁性層と第2の固定磁性層とを同じ膜厚で形成せず、異なる膜厚で形成することによって、大きい交換結合磁界が得られ、同時にΔMRを従来と同程度まで高くすることが可能となっている。なお第1の固定磁性層と第2の固定磁性層の膜厚比については、後でグラフを参照して詳述する。

【0037】以上のように本発明では、固定磁性層を非磁性中間層を介して第1の固定磁性層と第2の固定磁性層の2層に分断し、さらに反強磁性層としてPtMn合金など、前記第1の固定磁性層との界面で大きい交換結合磁界(交換異方性磁界)を発揮する反強磁性材料を使用することによって、スピナルブ型薄膜素子全体の交換結合磁界(Hex)を大きくすることができ、第1の固定磁性層と、第2の固定磁性層の磁化を熱的に安定した反平行状態(フェリ状態)に保つことが可能となっている。

【0038】特に本発明では、センス電流を流す方向を適正な方向に制御することにより、センス電流を流すことによって形成されるセンス電流磁界の方向と、第1の固定磁性層の磁気モーメントと第2の固定磁性層の磁気モーメントを足し合わせて求めることができる合成磁気モーメントの方向とを一致させ、これにより、より前記第1の固定磁性層と第2の固定磁性層の磁化状態を、熱的に安定した状態に保つことが可能になる。

【0039】

【発明の実施の形態】図1は本発明における第1の実施形態のスピナルブ型薄膜素子を模式図的に示した横断面図、図2は図1のスピナルブ型薄膜素子を記録媒体との対向面側から見た断面図である。このスピナルブ型薄膜素子の上下には、ギャップ層を介してシールド層が形成されており、前記スピナルブ型薄膜素子、ギャップ層、及びシールド層で、再生用の薄膜磁気ヘッド(MRヘッド)が構成されている。なお前記再生用の薄膜磁気ヘッドの上に、記録用のインダクティブヘッドが積層されていてもよい。

【0040】前記薄膜磁気ヘッドは、ハードディスク装置に設けられた浮上式スライダのトレーリング側端部などに設けられて、ハードディスクなどの記録磁界を検出するものである。なお、ハードディスクなどの磁気記録媒体の移動方向は図示Z方向であり、磁気記録媒体から

の洩れ磁界の方向はY方向である。

【0041】図1、2に示すスピナルブ型薄膜素子は、反強磁性層、固定磁性層、非磁性導電層、及びフリー磁性層が一層ずつ形成された、いわゆるシングルスピンバルブ型薄膜素子であり、最も下に形成された層は、Taなどの非磁性材料で形成された下地層10である。図1、2では前記下地層10の上に、反強磁性層11が形成され、前記反強磁性層11の上に、第1の固定磁性層12が形成されている。そして図1に示すように前記第1の固定磁性層12の上には非磁性中間層13が形成され、さらに前記非磁性中間層13の上に第2の固定磁性層14が形成されている。

【0042】前記第1の固定磁性層12及び第2の固定磁性層14は、例えばCo膜、NiFe合金、CoNiFe合金、CoFe合金などで形成されている。また本発明では、前記反強磁性層11は、PtMn合金で形成されていることが好ましい。PtMn合金は、従来から反強磁性層として使用されているNiMn合金やFeMn合金などに比べて耐食性に優れ、しかもブロッキング温度が高く、交換結合磁界（交換異方性磁界）も大きい。また本発明では、前記PtMn合金に代えて、X-Mn（ただしXは、Pd、Ir、Rh、Ruのいずれか1種または2種以上の元素である）合金、あるいは、Pt-Mn-X'（ただしX'は、Pd、Ir、Rh、Ru、Au、Agのいずれか1種または2種以上の元素である）合金で形成されていてもよい。

【0043】ところで図1に示す第1の固定磁性層12及び第2の固定磁性層14に示されている矢印は、それぞれの磁気モーメントの大きさ及びその方向を表しており、前記磁気モーメントの大きさは、飽和磁化（Ms）と膜厚（t）とをかけた値で決定される。図1に示す第1の固定磁性層12と第2の固定磁性層14とは同じ材質、例えばCo膜で形成され、しかも第2の固定磁性層14の膜厚 t_{p2} が、第1の固定磁性層12の膜厚 t_{p1} よりも大きく形成されているために、第2の固定磁性層14の方が第1の固定磁性層12に比べ磁気モーメントが大きくなっている。なお、本発明では、第1の固定磁性層12及び第2の固定磁性層14が異なる磁気モーメントを有することを必要としており、従って、第1の固定磁性層12の膜厚 t_{p1} が第2の固定磁性層14の膜厚 t_{p2} より厚く形成されていてもよい。

【0044】図1に示すように第1の固定磁性層12は図示Y方向、すなわち記録媒体から離れる方向（ハイト方向）に磁化されており、非磁性中間層13を介して対向する第2の固定磁性層14の磁化は前記第1の固定磁性層12の磁化方向と反平行に磁化されている。第1の固定磁性層12は、反強磁性層11に接して形成され、磁場中アニール（熱処理）を施すことにより、前記第1の固定磁性層12と反強磁性層11との界面にて交換結

ように、前記第1の固定磁性層12の磁化が、図示Y方向に固定される。前記第1の固定磁性層12の磁化が、図示Y方向に固定されると、非磁性中間層12を介して対向する第2の固定磁性層14の磁化は、第1の固定磁性層12の磁化と反平行の状態に固定される。

【0045】本発明では、前記第1の固定磁性層12の膜厚 t_{p1} と、第2の固定磁性層14の膜厚比 t_{p2} を適正化しており、（第1の固定磁性層の膜厚 t_{p1} ）／（第2の固定磁性層の膜厚 t_{p2} ）は、0.33～0.95、あるいは1.05～4の範囲内であることが好ましい。この範囲内であれば交換結合磁界を大きくできるが、上記範囲内においても第1の固定磁性層12と第2の固定磁性層14との膜厚自体が厚くなると、交換結合磁界は低下する傾向にあるため、本発明では、第1の固定磁性層12と第2の固定磁性層14の膜厚を適正化している。

【0046】本発明では、第1の固定磁性層12の膜厚 t_{p1} 及び第2の固定磁性層14の膜厚 t_{p2} が10～70オングストロームの範囲内で、且つ第1の固定磁性層12の膜厚 t_{p1} から第2の固定磁性層14の膜厚 t_{p2} を引いた絶対値が2オングストローム以上であることが好ましい。上記範囲内で適正に膜厚比、及び膜厚を調節すれば、少なくとも500（Oe）以上の交換結合磁界（Hex）を得ることが可能である。ここで交換結合磁界とは、最大 ΔMR （抵抗変化率）の半分の ΔMR となるときの外部磁界の大きさのことであり、前記交換結合磁界（Hex）は、反強磁性層11と第1の固定磁性層12との界面で発生する交換結合磁界（交換異方性磁界）や第1の固定磁性層12と第2の固定磁性層14との間で発生する交換結合磁界（RKKY相互作用）などのすべての磁界を含めた総合的なものである。

【0047】また本発明では、前記（第1の固定磁性層の膜厚 t_{p1} ）／（第2の固定磁性層の膜厚 t_{p2} ）は、0.53～0.95、あるいは1.05～1.8の範囲内であることがより好ましい。また上記範囲内であって、第1の固定磁性層12の膜厚 t_{p1} と第2の固定磁性層14の膜厚 t_{p2} は共に10～50オングストロームの範囲内であり、しかも第1の固定磁性層12の膜厚 t_{p1} から第2の固定磁性層14の膜厚 t_{p2} を引いた絶対値は2オングストローム以上であることが好ましい。上記範囲内で、第1の固定磁性層12と第2の固定磁性層14の膜厚比、及び第1の固定磁性層12の膜厚 t_{p1} と第2の固定磁性層14の膜厚 t_{p2} を適正に調節すれば、少なくとも1000（Oe）以上の交換結合磁界を得ることが可能である。また上記範囲内の、膜厚比及び膜厚であれば交換結合磁界（Hex）を大きくできると同時に、 ΔMR （抵抗変化率）も従来と同程度に高くすることが可能である。交換結合磁界が大きいほど、第1の固定磁性層12の磁化と第2の固定磁性層14の磁化を安定して反平行状態に保つことが可能であり、特に本発明では

第1の固定磁性層12との界面で大きい交換結合磁界（交換異方性磁界）を発生させるPtMn合金を使用することで、前記第1の固定磁性層12及び第2の固定磁性層14の磁化状態を熱的にも安定して保つことができる。

【0048】ところで、第1の固定磁性層12と第2の固定磁性層14とが同じ材質で形成され、しかも前記第1の固定磁性層12と第2の固定磁性層14との膜厚が同じ値であると、交換結合磁界（ H_{ex} ）及び ΔMR は極端に低下することが実験により確認されている。これは、第1の固定磁性層12の $M_s \cdot t_{p1}$ （磁気モーメント）と、第2の固定磁性層14の $M_s \cdot t_{p2}$ （磁気モーメント）とが同じ値である場合、前記第1の固定磁性層12の磁化と第2の固定磁性層14の磁化とが反平行状態にならず、前記磁化の方向分散量（様々な方向に向いている磁気モーメント量）が多くなることにより、後述するフリー磁性層16の磁化との相対角度を適正に制御できないからである。

【0049】こうした問題を解決するためには、第1に第1の固定磁性層12と、第2の固定磁性層14の $M_s \cdot t$ を異なる値にすること、すなわち第1の固定磁性層

12と第2の固定磁性層14とが同じ材質で形成される場合には、前記第1の固定磁性層12と第2の固定磁性層14を異なる膜厚で形成する必要がある。本発明では、前述したように、第1の固定磁性層12と、第2の固定磁性層14の膜厚比を適正化しているが、その膜厚比の中で、前記第1の固定磁性層12の膜厚 t_{p1} と第2の固定磁性層14の膜厚 t_{p2} とがほぼ同じ値になる場合、具体的には、0.95～1.05の範囲内の膜厚比を適正な範囲から除外している。

【0050】次に、本発明のように、反強磁性層11にPtMn合金など、成膜後に磁場中アニール（熱処理）を施すことにより、第1の固定磁性層12との界面で交換結合磁界（交換異方性磁界）を発生させる反強磁性材料を使用した場合には、第1の固定磁性層12と第2の固定磁性層14の $M_s \cdot t$ を異なる値に設定しても、熱処理中の印加磁場の方向、及びその大きさを適正に制御しないと、第1の固定磁性層12の磁化及び第2の固定磁性層14の磁化に方向分散量が多くなったり、あるいは前記磁化を向けたい方向に適正に制御できない。

【0051】

【表1】

表1

第1の固定磁性層 $M_s \cdot t_{p1}$ > 第2の固定磁性層 $M_s \cdot t_{p2}$

熱処理中の 磁界方向	(1) 左に100～1kOe	(2) 右に100～1kOe	(3) 右に5kOe以上	(4) 左に5kOe以上
第1の固定 磁性層の方向	←	→	→	←
第2の固定 磁性層の方向	→	←	→	←

表1では、第1の固定磁性層12の $M_s \cdot t_{p1}$ が、第2の固定磁性層の $M_s \cdot t_{p2}$ よりも大きい場合に、熱処理中の磁場の大きさ及びその方向を変えることによって、第1の固定磁性層12及び第2の固定磁性層14の磁化がどの方向に向くかを表している。

【0052】表1の(1)では、熱処理中の磁場の方向を図示左側に、100～1k(Oe)与えている。この場合、第1の固定磁性層12の $M_s \cdot t_{p1}$ の方が、第2の固定磁性層14の $M_s \cdot t_{p2}$ よりも大きいために、支配的な第1の固定磁性層12の磁化が、印加磁場方向にならって図示左方向に向き、第2の固定磁性層14の磁化は、第1の固定磁性層12との交換結合磁界（RKKY相互作用）によって、反平行状態になろうとする。表1の(2)では、右方向に100～1k(Oe)の磁場を印加すると、支配的な第1の固定磁性層12の磁化が、印加磁場方向にならって右方向に向き、第2の固定

磁性層14の磁化は、第1の固定磁性層12の磁化に対して反平行になる。表1の(3)では、右方向に5k(Oe)以上の磁場を与えると、まず支配的な第1の固定磁性層12の磁化は、印加磁場方向にならって右方向に向く。ところで、第1の固定磁性層12と第2の固定磁性層14との間に発生する交換結合磁界（RKKY相互作用）は、1k(Oe)～5k(Oe)程度であるので、5k(Oe)以上の磁場が印加されると、第2の固定磁性層14もその印加磁場方向、すなわち図示右方向に向く。同様に、表1の(4)では左方向に5k(Oe)以上の磁場を印加すると、第1の固定磁性層12及び第2の固定磁性層14の磁化は共に、図示左方向に向く。

【0053】

【表2】

表 2

第1の固定磁性層 $M_s \cdot t_{p1}$ < 第2の固定磁性層 $M_s \cdot t_{p2}$

熱処理中の 磁界方向	(1) 左に 100~1kOe	(2) 右に 100~1kOe	(3) 右に 5kOe 以上	(4) 左に 5kOe 以上
第1の固定 磁性層の方向	→	←	→	←
第2の固定 磁性層の方向	←	→	→	←

表2では、第1の固定磁性層12の $M_s \cdot t_{p1}$ が、第2の固定磁性層の $M_s \cdot t_{p2}$ も小さい場合に、熱処理中の印加磁場の大きさ及びその方向を変えることによって、第1の固定磁性層12及び第2の固定磁性層14の磁化がどの方向に向くかを表している。

【0054】表2の(1)では、図示左方向に100~1k(Oe)の磁場を与えると、 $M_s \cdot t_{p2}$ の大きい第2の固定磁性層14の磁化が支配的になり、前記第2の固定磁性層14の磁化が、印加磁場方向にならって、図示左方向に向く。第1の固定磁性層12と第2の固定磁性層14の間の交換結合(RKKY相互作用)によって、前記第1の固定磁性層12の磁化は、前記第2の固定磁性層14の磁化に対して反平行になる。同様に、表2の(2)では、図示右方向に100~1k(Oe)の磁場を与えると、支配的な第2の固定磁性層14の磁化が図示右方向に向き、第1の固定磁性層12の磁化は図示左方向に向く。表2の(3)では、図示右方向に5k(Oe)以上の磁場を与えると、第1の固定磁性層12及び第2の固定磁性層14の間の交換結合(RKKY相互作用)以上の磁場が印加されることにより、前記第1の固定磁性層12及び第2の固定磁性層14の磁化が共に、図示右方向に向く。表2の(4)では、図示左方向に5k(Oe)以上の磁場を印加されると、第1の固定磁性層12及び第2の固定磁性層14の磁化が共に図示左方向に向く。

【0055】ここで、例えば第1の固定磁性層12の磁化を図示右方向に向けようとする場合に、適正な熱処理中の磁場方向及びその大きさは、表1における(2)

(3)及び表2における(1)(3)である。表1

(2)(3)では共に、 $M_s \cdot t_{p1}$ の大きい第1の固定磁性層12の磁化は、熱処理中における右方向の印加磁場の影響を受けて、右方向に向き、このとき、熱処理によって発生する反強磁性層11との界面での交換結合磁界(交換異方性磁界)によって、前記第1の固定磁性層12の磁化が右方向に固定される。表1(3)では、5k(Oe)以上の磁場を取り除くと、第2の固定磁性層14は、第1の固定磁性層12との間に発生する交換結合磁界(RKKY相互作用)によって、前記第2の固定磁性層14の磁化は反転し、左方向に向く。同様に表2(1)(3)では、右方向に向けられた第1の固定磁性層12の磁化は、反強磁性層11との界面での交換結合

る。表2(3)では、5k(Oe)以上の磁場を取り除くと、第2の固定磁性層14は、第1の固定磁性層12との間に発生する交換結合磁界(RKKY相互作用)によって、前記第2の固定磁性層14の磁化は反転し、左方向に固定される。

【0056】ところで表1及び表2に示すように、熱処理中に印加される磁場の大きさは、100~1k(Oe)、あるいは5k(Oe)以上であり、1k(Oe)~5k(Oe)の範囲の磁場の大きさを適正な範囲から外している。これは次のような理由による。磁場を与えることによって、 $M_s \cdot t$ の大きい固定磁性層の磁化は、その磁場方向に向こうとする。ところが、熱処理中の磁場の大きさが1k(Oe)~5k(Oe)の間であると、 $M_s \cdot t$ の小さい固定磁性層の磁化までが、磁場の影響を強く受けて、その磁場方向に向こうとする。このため、固定磁性層間に発生する交換結合磁界(RKKY相互作用)によって反平行になろうとする2層の固定磁性層の磁化が、強い磁場の影響を受けて反平行にはならず、前記固定磁性層の磁化が、様々な方向に向こうとする、いわゆる磁化分散量が多くなり、2層の固定磁性層の磁化を適正に反平行状態に磁化することができなくなる。従って、本発明では1k(Oe)~5k(Oe)の磁場の大きさを、適正な範囲から外している。なお熱処理中の磁場の大きさを100(Oe)以上としたのは、この程度の磁場を与えないと、 $M_s \cdot t$ の大きい固定磁性層の磁化を、その印加磁場方向に向けることができないからである。なお上述した熱処理中の磁場の大きさ及びその方向の制御方法は、熱処理を必要とする反強磁性層11を使用した場合であれば、どのような反強磁性材料を使用した場合であっても適用でき、例えば従来から反強磁性層11として用いられているNiMn合金などを使用した場合でも適用可能である。

【0057】以上のように本発明では、第1の固定磁性層12と第2の固定磁性層14との膜厚比を適正な範囲内に収めることによって、交換結合磁界(H_{ex})を大きくでき、第1の固定磁性層12と第2の固定磁性層14の磁化を、熱的にも安定した反平行状態(フェリ状態)に保つことができ、しかも ΔMR (抵抗変化率)を従来と同程度に確保することが可能である。さらに熱処理中の磁場の大きさ及びその方向を適正に制御することによって、第1の固定磁性層12及び第2の固定磁性層

なる。

【0058】ところで前述したように磁気モーメント（磁氣的膜厚）は、飽和磁化 M_s と膜厚 t との積によって求めることができ、例えば、バルク固体のNiFeであると、飽和磁化 M_s は、約1.0 T（テスラ）であり、バルク固体のCoであると、飽和磁化 M_s は約1.7 Tであることが知られている。従って、前記NiFe膜の膜厚が30オングストロームである場合、前記NiFe膜の磁氣的膜厚は、30オングストローム・テスラとなる。外部から磁界を加えたときの強磁性膜の静磁エネルギーは、磁氣的膜厚と外部磁界との掛け合わせに比例するため、磁氣的膜厚の大きい強磁性膜と磁氣的膜厚の小さい強磁性膜が非磁性中間層を介してRKKY相互作用によりフェリ状態になっている場合、磁氣的膜厚の大きい方の強磁性膜が、外部磁界の方向を向きやすくなるわけである。

【0059】しかしながら、タンタル（Ta）やルテニウム（Ru）、銅（Cu）等の非磁性膜と積層接触した強磁性膜の場合や、PtMn膜などの反強磁性層と積層接触した強磁性膜の場合、非磁性膜原子や反強磁性膜原子と強磁性膜原子（Ni, Fe, Co）が直接触れ合うため、非磁性膜や反強磁性膜との界面付近の強磁性膜の飽和磁化 M_s が、バルク固体の飽和磁化 M_s よりも小さくなることが知られている。更に、強磁性膜と非磁性膜、反強磁性層の積層多層膜に熱処理が施されると、前記熱処理によって界面拡散が進行し、強磁性膜の飽和磁化 M_s に膜厚方向の分布が生じることが知られている。すなわち、非磁性膜や反強磁性層に近い場所の飽和磁化 M_s は小さく、非磁性膜や反強磁性膜との界面から離れるに従って飽和磁化 M_s がバルク固体の飽和磁化 M_s に近づくという現象である。

【0060】非磁性膜や反強磁性層に近い場所の強磁性膜の飽和磁化 M_s の減少は、非磁性膜の材料、反強磁性層の材料、強磁性膜の材料や積層順序、熱処理温度等に依存するため、正確には、それぞれの特定された条件において求めなければならないことになる。本発明における磁氣的膜厚とは、非磁性膜や反強磁性層との熱拡散によって生じた飽和磁化 M_s の減少量も考慮して算出した値である。

【0061】PtMn膜と強磁性膜との界面で交換結合磁界を得るためには、熱処理によりPtMn膜と強磁性膜との界面で拡散層を形成することが必要であるが、拡散層の形成に伴う強磁性膜の飽和磁化 M_s の減少は、PtMn膜と強磁性膜の積層順序に依存することになる。

【0062】特に図1に示すように、反強磁性層11がフリー磁性層16よりも下側に形成されている場合にあっては、前記反強磁性層11と第1の固定磁性層12との界面に熱拡散層が発生しやすく、このため前記第1の固定磁性層12の磁氣的な膜厚は、実際の膜厚 t_{p1} に比べて小さくなっている。しかし前記第1の固定磁性層1

2の磁氣的な膜厚が小さくなりすぎると、第2の固定磁性層14との磁氣的膜厚（磁気モーメント）差が大きくなりすぎ、前記第1の固定磁性層12に占める熱拡散層の割合が増えることにより、交換結合磁界の低下につながるという問題がある。すなわち本発明のように、第1の固定磁性層12との界面で交換結合磁界を発生させるために熱処理を必要とする反強磁性層11を使用し、第1の固定磁性層12と第2の固定磁性層14の磁化状態をフェリ状態にするためには、前記第1の固定磁性層12及び第2の固定磁性層14の膜厚の適正化のみならず、前記第1の固定磁性層12及び第2の固定磁性層14の磁氣的膜厚の適正化を行わないと、安定した磁化状態を保つことができない。

【0063】前述したように、第1の固定磁性層12と第2の固定磁性層14の磁氣的膜厚にある程度差がないと、磁化状態はフェリ状態にはなりにくく、また第1の固定磁性層12と第2の固定磁性層14の磁氣的膜厚の差が大きくなりすぎても、交換結合磁界の低下につながり好ましくない。そこで本発明では、第1の固定磁性層12と第2の固定磁性層14の膜厚比と同じように、

（第1の固定磁性層12の磁氣的膜厚）／（第2の固定磁性層14の磁氣的膜厚）は、0.33～0.95、あるいは1.05～4の範囲内とであることが好ましい。また本発明では、第1の固定磁性層12の磁氣的膜厚及び第2の固定磁性層14の磁氣的膜厚が10～70（オングストローム・テスラ）の範囲内で、且つ第1の固定磁性層12の磁氣的膜厚から第2の固定磁性層14の磁氣的膜厚を引いた絶対値が2（オングストローム・テスラ）以上であることが好ましい。

【0064】また（第1の固定磁性層12の磁氣的膜厚）／（第2の固定磁性層14の磁氣的膜厚）が、0.53～0.95、あるいは1.05～1.8の範囲内であることがより好ましい。また上記範囲内であって、第1の固定磁性層12の磁氣的膜厚と第2の固定磁性層14の磁氣的膜厚は共に10～50（オングストローム・テスラ）の範囲内であり、しかも第1の固定磁性層12の磁氣的膜厚から第2の固定磁性層14の磁氣的膜厚を引いた絶対値は2（オングストローム・テスラ）以上であることが好ましい。

【0065】次に、図1に示す第1の固定磁性層12と第2の固定磁性層14との間に介在する非磁性中間層13に関して説明する。本発明では、第1の固定磁性層12と第2の固定磁性層14との間に介在する非磁性中間層13は、Ru、Rh、Ir、Cr、Re、Cuのうち1種あるいは2種以上の合金で形成されていることが好ましい。本発明では、反強磁性層11が後述するフリー磁性層16よりも下側に形成されているか、あるいは上側に形成されているかで、適正な前記非磁性中間層13の膜厚値を変えている。

【0066】図1に示すようにフリー磁性層16よりも

下側に反強磁性層11が形成されている場合の前記非磁性中間層13の膜厚は、3.6～9.6オングストロームの範囲内で形成されることが好ましい。この範囲内であれば、500(Oe)以上の交換結合磁界(Hex)を得ることが可能である。また前記非磁性中間層13の膜厚は、4～9.4オングストロームの範囲内で形成されると、1000(Oe)以上の交換結合磁界を得ることができるのでより好ましい。非磁性中間層13の膜厚が上述した寸法以外の寸法で形成されると、交換結合磁界が極端に低下することが実験により確認されている。すなわち、上記寸法以外の寸法により前記非磁性中間層13が形成されると、前記第1の固定磁性層12と第2の固定磁性層14との磁化が反平行状態(フェリ状態)になりにくくなり、前記磁化状態が不安定化するという問題がある。

【0067】図1に示すように、第2の固定磁性層14の上には、Cuなどで形成された非磁性導電層15が形成され、さらに前記非磁性導電層15の上にフリー磁性層16が形成されている。図1に示すようにフリー磁性層16は、2層で形成されており、前記非磁性導電層15に接する側に形成された符号17の層はCo膜で形成されている。またもう一方の層18は、NiFe合金や、CoFe合金、あるいはCoNiFe合金などで形成されている。なお非磁性導電層15に接する側にCo膜の層17を形成する理由は、Cuで形成された前記非磁性導電層15との界面での金属元素等の拡散を防止でき、また、 ΔMR (抵抗変化率)を大きくできるからである。なお符号19はTaなどで形成された保護層である。また図2に示すように、下地層10から保護層19までの積層体の両側には、例えばCo-Pt合金やCo-Cr-Pt合金などで形成されたハードバイアス層130及びCuやCrで形成された導電層131が形成されており、前記ハードバイアス層のバイアス磁界の影響を受けて、前記フリー磁性層16の磁化は、図示X方向に磁化された状態となっている。

【0068】図1におけるスピバルブ型薄膜素子では、前記導電層からフリー磁性層16、非磁性導電層15、及び第2の固定磁性層14にセンス電流が与えられる。記録媒体から図1に示す図示Y方向に磁界が与えられると、フリー磁性層16の磁化は図示X方向からY方向に変動し、このときの非磁性導電層15とフリー磁性層16との界面、及び非磁性導電層15と第2の固定磁性層14との界面でスピに依存した伝導電子の散乱が起こることにより、電気抵抗が変化し、記録媒体からの洩れ磁界が検出される。

【0069】ところで前記センス電流は、実際には、第1の固定磁性層12と非磁性中間層13の界面などにも流れる。前記第1の固定磁性層12は ΔMR に直接関与せず、前記第1の固定磁性層12は、 ΔMR に関与する

いわば補助的な役割を担った層となっている。このため、センス電流が、第1の固定磁性層12及び非磁性中間層13に流れることは、シャントロス(電流ロス)になるが、このシャントロスの量は非常に少なく、本発明では、従来とほぼ同程度の ΔMR を得ることが可能となっている。

【0070】ところで本発明では、固定磁性層を非磁性中間層13を介して第1の固定磁性層12と第2の固定磁性層14の2層に分断することにより、反強磁性層11の膜厚を薄くしても、大きな交換結合磁界(Hex)、具体的には500(Oe)以上の交換結合磁界を得られることが実験によりわかった。

【0071】従来、シングルスピンバルブ型薄膜素子の反強磁性層11としてPtMn合金を使用した場合に、少なくとも200オングストローム以上の膜厚を確保しなければ、500(Oe)以上の交換結合磁界を得ることができなかったが、本発明では、前記反強磁性層11を少なくとも90オングストローム以上で形成すれば、500(Oe)以上の交換結合磁界を得ることが可能である。また前記膜厚を100オングストローム以上にすれば、1000(Oe)以上の交換結合磁界を得ることが可能である。なお前記反強磁性層11の膜厚の数値範囲は、シングルスピンバルブ型薄膜素子の場合であり、反強磁性層が、フリー磁性層の上下に形成される、いわゆるデュアルスピバルブ型薄膜素子の場合には、若干適正な膜厚範囲が異なる。デュアルスピバルブ型薄膜素子の場合については後述する。このように本発明によれば、スピバルブ型薄膜素子の中で最も大きな膜厚を有していた反強磁性層11を従来に比べて半分以下の膜厚で形成できることで、スピバルブ型薄膜素子全体の膜厚を薄くすることが可能である。

【0072】図13はスピバルブ型薄膜素子が形成された読み取りヘッドの構造を記録媒体との対向面側から見た断面図である。符号120は、例えばNiFe合金などで形成された下部シールド層であり、この下部シールド層120の上に下部ギャップ層121が形成されている。また前記下部ギャップ層121の上は、本発明におけるスピバルブ型薄膜素子122が形成されており、前記スピバルブ型薄膜素子122の両側にハードバイアス層123、及び導電層124が形成されている。さらに前記導電層124の上には、上部ギャップ層125が形成され、前記上部ギャップ層125の上には、NiFe合金などで形成された上部シールド層126が形成されている。前記下部ギャップ層123及び上部ギャップ層125は、例えば SiO_2 や Al_2O_3 (アルミナ)などの絶縁材料によって形成されている。図13に示すように、下部ギャップ層121から上部ギャップ層125までの長さがギャップ長G1であり、このギャップ長G1が小さいほど高記録密度化に対応できるも

【0073】本発明では前述したように、反強磁性層11の膜厚を薄くできることで、スピバルブ型薄膜素子122全体の厚さを薄くできるため、前記ギャップ長G1を短くすることが可能である。また下部ギャップ層121及び上部ギャップ層125の膜厚を比較的厚くしても、ギャップ長G1を従来に比べて小さくすることができ、また下部ギャップ層121及び上部ギャップ層125を厚く形成することで、絶縁性を十分に確保することができる。

【0074】図1に示すスピバルブ型薄膜素子は、まず下から下地層10、反強磁性層11、第1の固定磁性層12、非磁性中間層13、第2の固定磁性層14、非磁性導電層15、フリー磁性層16、及び保護層19を成膜し、成膜後の工程において、磁場中アニール（熱処理）を施す。図1に示すスピバルブ型薄膜素子では、第1の固定磁性層12の膜厚 t_{p1} が、第2の固定磁性層14の膜厚 t_{p2} に比べ薄く形成されており、第1の固定磁性層12の磁気モーメント（ $M_s \cdot t_{p1}$ ）の方が、第2の固定磁性層14の磁気モーメント（ $M_s \cdot t_{p2}$ ）に比べて小さく設定されている。この場合、前記第1の固定磁性層14の磁化を向けたい方向と逆の方向に、100～1000（Oe）の磁場を印加するか、あるいは磁化を向けたい方向に5k（Oe）以上の磁場を印加する。

【0075】図1に示すように、第1の固定磁性層12の磁化を図示Y方向に固定したい場合には、前述した表2を参照することにより、図示Y方向と逆の方向に100～1k（Oe）（表2（1）参照）の磁場を印加するか、あるいはY方向（表2（3）参照）に5k（Oe）以上の磁場を印加すればよいことがわかる。Y方向と逆の方向に100～1k（Oe）の磁場を与えることで、磁気モーメント（ $M_s \cdot t_{p2}$ ）が大きい第2の固定磁性層14の磁化がY方向と逆の方向に磁化され、前記第2の固定磁性層との交換結合磁界（RKKY相互作用）によって反平行に磁化されようとする第1の固定磁性層12の磁化が図示Y方向に向き、前記反強磁性層11との界面に発生する交換結合磁界（交換異方性磁界）によって、前記第1の固定磁性層12の磁化が図示Y方向に固定される。第1の固定磁性層12の磁化が図示Y方向に固定されることにより、第2の固定磁性層14の磁化が、第1の固定磁性層12の磁化と反平行に固定される。

【0076】あるいは図示Y方向に5k（Oe）以上の磁場を与えると、第1の固定磁性層12及び第2の固定磁性層14の磁化が共に図示Y方向に磁化され、第1の固定磁性層12の磁化が、反強磁性層11との界面に発生する交換結合磁界（交換異方性磁界）によって図示Y方向に固定される。5k（Oe）以上の印加磁場を取り去ると、第2の固定磁性層14の磁化は、第1の固定磁性層12との交換結合磁界（RKKY相互作用）によ

って反転し、図示Y方向と反対方向に固定される。あるいは、第1の固定磁性層12の磁気モーメントが、第2の固定磁性層14の磁気モーメントよりも大きい場合には、前記第1の固定磁性層12の磁化を向けたい方向に、100～1000（Oe）または5k（Oe）以上の磁場を印加する。

【0077】なお、図1に示すスピバルブ型薄膜素子は、再生用ヘッド（薄膜磁気ヘッド）を構成する最も重要な箇所であり、まず、磁性材料製の下部シールド層上にギャップ層を形成した後、前記スピバルブ型薄膜素子を成膜する。その後、前記スピバルブ型薄膜素子の上にギャップ層を介して上部シールド層を形成すると、再生用ヘッド（MRヘッド）が完成する。なお前記再生用ヘッド上に、磁性材料製のコアとコイルとを有する記録用のインダクティブヘッドを積層してもよい。この場合、前記上部シールド層を、インダクティブヘッドの下部コア層として兼用することが好ましい。なお、図3以降のスピバルブ型薄膜素子は、図1に示すスピバルブ型薄膜素子と同様に、その上下にシールド層が形成されている。

【0078】図3は、本発明の第2の実施形態のスピバルブ型薄膜素子の構造を模式的に示した横断面図、図4は、図3に示すスピバルブ型薄膜素子を記録媒体との対向面側から見た断面図である。このスピバルブ型薄膜素子は、図1のスピバルブ型薄膜素子の膜構成を逆にして形成したシングルスピンバルブ型薄膜素子である。すなわち、図3に示すスピバルブ型薄膜素子では、下から下地層10、NiFe膜22、Co膜23（NiFe膜22とCo膜23を合わせてフリー磁性層21）、非磁性導電層24、第2の固定磁性層25、非磁性中間層26、第1の固定磁性層27、反強磁性層28、及び保護層29の順で積層されている。

【0079】なお前記反強磁性層28は、PtMn合金で形成されていることが好ましく、あるいはPtMn合金に代えて、X-Mn（ただしXは、Pd、Ir、Rh、Ruのいずれか1種または2種以上の元素である）合金、あるいは、Pt-Mn-X'（ただしX'は、Pd、Ir、Rh、Ru、Au、Agのいずれか1種または2種以上の元素である）合金で形成されていてもよい。

【0080】このスピバルブ型薄膜素子において、前記第1の固定磁性層27の膜厚 t_{p1} と、第2の固定磁性層25の膜厚比 t_{p2} は、（第1の固定磁性層の膜厚 t_{p1} ）／（第2の固定磁性層の膜厚 t_{p2} ）は、0.33～0.95、あるいは1.05～4の範囲内であることが好ましく、より好ましくは、0.53～0.95、あるいは1.05～1.8の範囲内である。しかも、第1の固定磁性層27の膜厚 t_{p1} 及び第2の固定磁性層25の膜厚 t_{p2} が10～70オングストロームの範囲内で、且つ第1の固定磁性層27の膜厚 t_{p1} から第2の固定磁性

層25の膜厚 t_{p2} を引いた絶対値が2オングストローム以上であることが好ましい。さらに好ましくは、第1の固定磁性層27の膜厚 t_{p1} 及び第2の固定磁性層25の膜厚 t_{p2} が10～50オングストロームの範囲内、且つ第1の固定磁性層27の膜厚 t_{p1} から第2の固定磁性層25の膜厚 t_{p2} を引いた絶対値が2オングストローム以上である。

【0081】前述したように、第1の固定磁性層27と第2の固定磁性層25の磁氣的膜厚にある程度差がないと、磁化状態はフェリ状態にはなりにくく、また第1の固定磁性層27と第2の固定磁性層25の磁氣的膜厚の差が大きくなりすぎても、交換結合磁界の低下につながり好ましくない。そこで本発明では、第1の固定磁性層27と第2の固定磁性層25の膜厚比と同じように、 $(\text{第1の固定磁性層27の磁氣的膜厚} Ms \cdot t_{p1}) / (\text{第2の固定磁性層25の磁氣的膜厚} Ms \cdot t_{p2})$ は、0.33～0.95、あるいは1.05～4の範囲内とであることが好ましい。また本発明では、第1の固定磁性層27の磁氣的膜厚 $Ms \cdot t_{p1}$ 及び第2の固定磁性層25の磁氣的膜厚 $Ms \cdot t_{p2}$ が10～70(オングストローム・テスラ)の範囲内、且つ第1の固定磁性層27の磁氣的膜厚 $Ms \cdot t_{p1}$ から第2の固定磁性層25の磁氣的膜厚 $Ms \cdot t_{p2}$ を引いた絶対値が2(オングストローム・テスラ)以上であることが好ましい。

【0082】また(第1の固定磁性層27の磁氣的膜厚 $Ms \cdot t_{p1}) / (\text{第2の固定磁性層25の磁氣的膜厚} Ms \cdot t_{p2})$ が、0.53～0.95、あるいは1.05～1.8の範囲内であることがより好ましい。また上記範囲内であって、第1の固定磁性層27の磁氣的膜厚 $Ms \cdot t_{p1}$ と第2の固定磁性層25の磁氣的膜厚 $Ms \cdot t_{p2}$ は共に10～50(オングストローム・テスラ)の範囲内であり、しかも第1の固定磁性層27の磁氣的膜厚 $Ms \cdot t_{p1}$ から第2の固定磁性層25の磁氣的膜厚 $Ms \cdot t_{p2}$ を引いた絶対値は2(オングストローム・テスラ)以上であることが好ましい。

【0083】次に図3に示す第1の固定磁性層27と第2の固定磁性層25との間に介在する非磁性中間層26は、Ru、Rh、Ir、Cr、Re、Cuのうち1種あるいは2種以上の合金で形成されていることが好ましい。本発明では図3に示すように、フリー磁性層21よりも上側に反強磁性層28が形成されている場合、前記非磁性中間層26の膜厚は、2.5～6.4オングストローム、あるいは6.6～10.7オングストロームの範囲内であることが好ましい。この範囲内であると、少なくとも500(Oe)以上の交換結合磁界(Hex)を得ることができる。

【0084】また本発明では、前記非磁性中間層26の膜厚は、2.8～6.2オングストローム、あるいは6.8～10.3オングストロームの範囲内であること

00(Oe)以上の交換結合磁界を得ることが可能である。また、前記反強磁性層28を少なくとも90オングストローム以上で形成すれば、500(Oe)以上の交換結合磁界を得ることが可能である。また前記膜厚を100オングストローム以上にすれば、1000(Oe)以上の交換結合磁界を得ることが可能である。

【0085】図3に示すスピンバルブ型薄膜素子では、第1の固定磁性層27の膜厚 t_{p1} は、第2の固定磁性層25の膜厚 t_{p2} と異なる値で形成され、例えば前記第1の固定磁性層27の膜厚 t_{p1} の方が、第2の固定磁性層25の膜厚 t_{p2} よりも厚く形成されている。また前記第1の固定磁性層27の磁化が、図示Y方向に磁化され、前記第2の固定磁性層25の磁化は図示Y方向と逆の方向に磁化されて、第1の固定磁性層27と第2の固定磁性層25磁化はフェリ状態となっている。図3に示す第1の固定磁性層27と第2の固定磁性層25の磁化方向の制御方法について以下に説明する。

【0086】まず図3に示す各層をスパッタ法などによって成膜し、成膜後の工程において、磁場中アニール(熱処理)を施す。第1の固定磁性層27の $Ms \cdot t_{p1}$ (磁気モーメント)が、第2の固定磁性層25の $Ms \cdot t_{p2}$ (磁気モーメント)よりも大きい場合には、前記第1の固定磁性層27の磁化を向きたい方向に100～1000(Oe)または5k(Oe)の磁場を印加すればよい。図3に示すように、 $Ms \cdot t_{p1}$ の大きい第1の固定磁性層27を図示Y方向に向けようとすると、前述した表1を参照することにより、図示Y方向に100～1k(Oe)(表1(2)参照)、あるいは図示Y方向に5k(Oe)以上(表1(3)参照)の磁場を熱処理中に印加する。

【0087】図示Y方向に100～1k(Oe)の磁場を与えることにより、 $Ms \cdot t_{p1}$ の大きい第1の固定磁性層27の磁化は、図示Y方向に向き、第2の固定磁性層25の磁化は反平行状態になろうとする。そして、前記第1の固定磁性層27と反強磁性層28との界面に発生する交換結合磁界(交換異方性磁界)によって、前記第1の固定磁性層27の磁化は図示Y方向に固定され、これにより、第2の固定磁性層25の磁化が図示Y方向と反対の方向に固定されるのである。

【0088】あるいは図示Y方向に5k(Oe)以上の磁場を与えると、第1の固定磁性層27と第2の固定磁性層25間に発生する交換結合磁界(RKKY相互作用)よりも大きな磁場が印加されることにより、第1の固定磁性層27及び第2の固定磁性層25の磁化が共に図示Y方向に磁化され、前記第1の固定磁性層27の磁化は、反強磁性層28との界面に発生する交換結合磁界(交換異方性磁界)によって図示Y方向に固定される。一方、第2の固定磁性層25の磁化は、印加磁場を取り去ることにより、第1の固定磁性層27との交換結合磁

定磁性層27の磁化と反平行状態になって固定される。

【0089】あるいは第1の固定磁性層27の磁気モーメントが第2の固定磁性層25の磁気モーメントよりも小さい場合には、第1の固定磁性層27の磁化を向けた方向と逆の方向に100～1000 (Oe) の磁場を印加し、または磁化を向けた方向に5k (Oe) 以上の磁場を印加する。なお図4に示すように、下地層10から保護層29までの積層体の両側には、ハードバイアス層130と導電層131が形成されており、前記ハードバイアス層130が図示X方向に磁化されていることによって、フリー磁性層21の磁化が図示X方向に揃えられている。

【0090】図5は、本発明の第3の実施形態のスピバルブ型薄膜素子の構造を模式的に示した横断面図、図6は図5に示すスピバルブ型薄膜素子を記録媒体との対向面側から見た断面図である。このスピバルブ型薄膜素子は、フリー磁性層を中心としてその上下に非磁性導電層、固定磁性層、及び反強磁性層が1層ずつ形成された、いわゆるデュアルスピバルブ型薄膜素子である。このデュアルスピバルブ型薄膜素子では、フリー磁性層／非磁性導電層／固定磁性層のこの3層の組み合わせが2組存在するためシングルスピンバルブ型薄膜素子に比べて大きなΔMRを期待でき、高密度記録化に対応できるものとなっている。

【0091】図5に示すスピバルブ型薄膜素子は、下から下地層30、反強磁性層31、第1の固定磁性層(下)32、非磁性中間層(下)33、第2の固定磁性層(下)34、非磁性導電層35、フリー磁性層36(符号37、39はCo膜、符号38はNiFe合金膜)、非磁性導電層40、第2の固定磁性層(上)41、非磁性中間層(上)42、第1の固定磁性層(上)43、反強磁性層44、及び保護層45の順で積層されている。なお図6に示すように、下地層30から保護層45までの積層体の両側には、ハードバイアス層130と導電層131が形成されている。

【0092】図5に示すスピバルブ型薄膜素子の反強磁性層31、44は、PtMn合金で形成されていることが好ましく、あるいはPtMn合金に代えて、X-Mn(ただしXは、Pd、Ir、Rh、Ruのいずれか1種または2種以上の元素である)合金、あるいは、Pt-Mn-X'(ただしX'は、Pd、Ir、Rh、Ru、Au、Agのいずれか1種または2種以上の元素である)合金で形成されていてもよい。

【0093】このスピバルブ型薄膜素子においても、前記第1の固定磁性層(下)32の膜厚 t_{p1} と、第2の固定磁性層(下)34の膜厚 t_{p2} との膜厚比、及び第1の固定磁性層(上)43の膜厚 t_{p1} と第2の固定磁性層41(上)の膜厚 t_{p2} との膜厚比(第1の固定磁性層の膜厚 t_{p1})/(第2の固定磁性層の膜厚 t_{p2})は、0.33～0.95、あるいは1.05～4の範囲内である

ことが好ましい。さらには、膜厚比が上記範囲内であり、第1の固定磁性層(下)32、(上)43の膜厚 t_{p1} 及び第2の固定磁性層(下)34、(上)41の膜厚 t_{p2} が10～70オングストロームの範囲内で、且つ第1の固定磁性層32、43の膜厚 t_{p1} から第2の固定磁性層34、41の膜厚 t_{p2} を引いた絶対値が2オングストローム以上であると、500 (Oe) 以上の交換結合磁界を得ることが可能である。

【0094】また本発明では、(第1の固定磁性層の膜厚 t_{p1})/(第2の固定磁性層の膜厚 t_{p2})は、0.53～0.95、あるいは1.05～1.8の範囲内であることがより好ましく、さらには、第1の固定磁性層(下)32、(上)43の膜厚 t_{p1} 及び第2の固定磁性層(下)34、(上)41の膜厚 t_{p2} が10～50オングストロームの範囲内で、且つ第1の固定磁性層32、43の膜厚 t_{p1} から第2の固定磁性層34、41の膜厚 t_{p2} を引いた絶対値が2オングストローム以上であれば、1000 (Oe) 以上の交換結合磁界を得ることができる。

【0095】ところで、フリー磁性層36よりも下側に形成されている第1の固定磁性層(下)32の膜厚 t_{p1} を、第2の固定磁性層(下)34の膜厚 t_{p2} よりも大きくしても、前記第1の固定磁性層(下)32の膜厚 t_{p1} と第2の固定磁性層(下)34の膜厚差が約6オングストローム以下であると、交換結合磁界が低下しやすい傾向にあることが実験によって確認されている。この現象は、第1の固定磁性層(下)32、(上)43との界面にて交換結合磁界(交換異方性磁界)を発生させるために熱処理を必要とする例えばPtMn合金で形成された反強磁性層31、44を使用した場合に見られる。

【0096】交換結合磁界の低下は、フリー磁性層36よりも下側に形成されている反強磁性層31と第1の固定磁性層(下)32との熱拡散によって、前記第1の固定磁性層(下)32の磁気的な膜厚が減少し、前記第1の固定磁性層(下)32の磁気的な膜厚と、第2の固定磁性層34の膜厚 t_{p2} とが、ほぼ同じ厚さになるからである。このため本発明では、(第1の固定磁性層(上)43の膜厚 t_{p1} /第2の固定磁性層(上)41の膜厚 t_{p2})よりも(第1の固定磁性層(下)32の膜厚 t_{p1} /第2の固定磁性層(下)34の膜厚 t_{p2})の方を大きくすることが好ましい。なお前記熱拡散層の発生は、図5に示すデュアルスピバルブ型薄膜素子に限らず、フリー磁性層16よりも反強磁性層11が下側に形成されたシングルスピンバルブ型薄膜素子(図1参照)にも同様に起こる現象である。

【0097】前述したように、第1の固定磁性層(下)32、(上)43の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{p1}$ と第2の固定磁性層(下)34、(上)41の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{p2}$ にある程度差がないと、磁化状態はフェリ状態にはなにくく、また第1の固定磁性層(下)32、(上)43

の磁氣的膜厚 $M_s \cdot t_{p1}$ と第2の固定磁性層(下)34、(上)41の磁氣的膜厚 $M_s \cdot t_{p2}$ の差が大きくなりすぎても、交換結合磁界の低下につながり好ましくない。そこで本発明では、第1の固定磁性層(下)32、(上)43の膜厚 t_{p1} と第2の固定磁性層(下)34、(上)41の膜厚 t_{p2} の膜厚比と同じように、(第1の固定磁性層(下)32、(上)43の磁氣的膜厚 $M_s \cdot t_{p1}$) / (第2の固定磁性層(下)34、(上)41の磁氣的膜厚 $M_s \cdot t_{p2}$)は、0.33~0.95、あるいは1.05~4の範囲内とであることが好ましい。また本発明では、第1の固定磁性層(下)32、(上)43の磁氣的膜厚 $M_s \cdot t_{p1}$ 及び第2の固定磁性層(下)34、(上)41の磁氣的膜厚 $M_s \cdot t_{p2}$ が10~70(オングストローム・テスラ)の範囲内、且つ第1の固定磁性層(下)32、(上)43の磁氣的膜厚 $M_s \cdot t_{p1}$ から第2の固定磁性層(下)34、(上)41の磁氣的膜厚 $M_s \cdot t_{p2}$ を引いた絶対値が2(オングストローム・テスラ)以上であることが好ましい。

【0098】また(第1の固定磁性層(下)32、(上)43の磁氣的膜厚 $M_s \cdot t_{p1}$) / (第2の固定磁性層(下)34、(上)41の磁氣的膜厚 $M_s \cdot t_{p2}$)が、0.53~0.95、あるいは1.05~1.8の範囲内であることがより好ましい。また上記範囲内であって、第1の固定磁性層(下)32、(上)43の磁氣的膜厚 $M_s \cdot t_{p1}$ と第2の固定磁性層(下)34、

(上)41の磁氣的膜厚 $M_s \cdot t_{p2}$ は共に10~50(オングストローム・テスラ)の範囲内であり、しかも第1の固定磁性層(下)32、(上)43の磁氣的膜厚 $M_s \cdot t_{p1}$ から第2の固定磁性層(下)34、(上)41の磁氣的膜厚 $M_s \cdot t_{p2}$ を引いた絶対値は2(オングストローム・テスラ)以上であることが好ましい。

【0099】次に図5に示す第1の固定磁性層(下)32、(上)43と第2の固定磁性層(下)34、(上)41との間に介在する非磁性中間層33、42は、Ru、Rh、Ir、Cr、Re、Cuのうち1種あるいは2種以上の合金で形成されていることが好ましい。図5に示すようにフリー磁性層36よりも下側に形成された前記非磁性中間層(下)33の膜厚は、3.6~9.6オングストロームの範囲内で形成されることが好ましい。この範囲内であれば、500(Oe)以上の交換結合磁界(He_x)を得ることが可能である。また前記非磁性中間層(下)33の膜厚は、4~9.4オングストロームの範囲内で形成されると、1000(Oe)以上の交換結合磁界を得ることができるのでより好ましい。

【0100】また本発明では図5に示すように、フリー磁性層36よりも上側に形成された非磁性中間層(上)42の膜厚は、2.5~6.4オングストローム、あるいは6.8~10.7オングストロームの範囲内であることが好ましい。この範囲内であると、少なくとも50

できる。また本発明では、前記非磁性中間層(上)42の膜厚は、2.8~6.2オングストローム、あるいは6.8~10.3オングストロームの範囲内であることがより好ましい。この範囲内であると、少なくとも1000(Oe)以上の交換結合磁界を得ることが可能である。

【0101】また、前記反強磁性層31、44を少なくとも100オングストローム以上で形成すれば、500(Oe)以上の交換結合磁界を得ることが可能である。また前記膜厚を110オングストローム以上にすれば、1000(Oe)以上の交換結合磁界を得ることが可能である。

【0102】従来では、前記反強磁性層31、44の膜厚は約200オングストローム以上で形成されていたので、本発明によれば、約半分の膜厚で前記反強磁性層31、44を形成することが可能であり、特にデュアルスピバルブ型薄膜素子の場合には、反強磁性層31、44が2層形成されるので、従来に比べてスピバルブ型薄膜素子全体の膜厚を、約200オングストローム以上薄くできる。このように薄く形成されたスピバルブ型薄膜素子では、図13に示す下部ギャップ層121、及び上部ギャップ層125を、絶縁性を十分に保つ程度に厚くしても、ギャップ長G1を薄くでき、高密度記録化に対応できるものとなっている。なお第1の固定磁性層(下)32、(上)43と第2の固定磁性層(下)34、(上)41との膜厚比や膜厚、非磁性中間層(下)33、(上)42の膜厚、及び反強磁性層31、44の膜厚を上述した範囲内で適正に調節することにより、従来と同程度のΔMRを保つことができ、具体的には約10%以上のΔMRを得ることが可能である。

【0103】図5に示すように、フリー磁性層36よりも下側に形成された第1の固定磁性層(下)32の膜厚 t_{p1} は、非磁性中間層33を介して形成された第2の固定磁性層(下)34の膜厚 t_{p2} に比べて薄く形成されている。一方、フリー磁性層36よりも上側に形成されている第1の固定磁性層(上)43の膜厚 t_{p1} は、非磁性中間層42を介して形成された第2の固定磁性層41(上)の膜厚 t_{p2} に比べ厚く形成されている。そして、第1の固定磁性層(下)32、(上)43の磁化は共に図示Y方向と反対方向に磁化されており、第2の固定磁性層(下)34、(上)41の磁化は図示Y方向に磁化された状態になっている。

【0104】図1及び図3に示すシングルスピバルブ型薄膜素子の場合にあっては、第1の固定磁性層の $M_s \cdot t_{p1}$ と第2の固定磁性層の $M_s \cdot t_{p2}$ が異なるように膜厚などを調節し、第1の固定磁性層の磁化の向きは、図示Y方向あるいは図示Y方向と反対方向のどちらでもよい。しかし、図5に示すデュアルスピバルブ型薄膜素子にあっては、第1の固定磁性層(下)32、(上)

り、そのために、本発明では、第1の固定磁性層（下）32、（上）43の磁気モーメント $M_s \cdot t_{p1}$ と、第2の固定磁性層（下）34、（上）41の磁気モーメント $M_s \cdot t_{p2}$ との調整、及び熱処理中に印加する磁場の方向及びその大きさを適正に調節している。

【0105】ここで、第1の固定磁性層（下）32、（上）43の磁化を共に同じ方向に向けておくのは、前記第1の固定磁性層（下）32、（上）43の磁化と反平行になる第2の固定磁性層（下）34、（上）41の磁化を共に同じ方向に向けておくためであり、その理由について以下に説明する。前述したように、スピンバルブ型薄膜素子の ΔMR は、固定磁性層の固定磁化とフリー磁性層の変動磁化との関係によって得られるものであるが、本発明のように固定磁性層が第1の固定磁性層と第2の固定磁性層の2層に分断された場合にあっては、前記 ΔMR に直接関与する固定磁性層の層は第2の固定磁性層であり、第1の固定磁性層は、前記第2の固定磁性層の磁化を、一定方向に固定しておくためのいわば補助的な役割を担っている。

【0106】仮に図5に示す第2の固定磁性層（下）34、（上）41の磁化が互いに反対方向に固定されるとすると、例えば第2の固定磁性層（上）41の固定磁化と、フリー磁性層36の変動磁化との関係では抵抗が大きくなっても、第2の固定磁性層（下）34の固定磁化と、フリー磁性層36の変動磁化との関係では抵抗が非常に小さくなってしまい、結局、デュアルスピンバルブ型薄膜素子における ΔMR は、図1や図3に示すシングルスピンバルブ型薄膜素子の ΔMR よりも小さくなってしまふ。この問題は、本発明のように、固定磁性層を非磁性中間層を介して2層に分断したデュアルスピンバルブ型薄膜素子に限ったことではなく、従来のデュアルスピンバルブ型薄膜素子であっても同じことであり、シングルスピンバルブ型薄膜素子に比べ ΔMR を大きくでき、大きな出力を得ることができるデュアルスピンバルブ型薄膜素子の特性を発揮させるには、フリー磁性層の上下に形成される固定磁性層を共に同じ方向に固定しておく必要がある。

【0107】ところで本発明では、図5に示すように、フリー磁性層36よりも下側に形成された固定磁性層は、第2の固定磁性層（下）34の $M_s \cdot t_{p2}$ の方が、第1の固定磁性層（下）32の $M_s \cdot t_{p1}$ に比べ大きくなっており、 $M_s \cdot t_{p2}$ の大きい第2の固定磁性層

（下）34の磁化が図示Y方向に固定されている。ここで、第2の固定磁性層34の $M_s \cdot t_{p2}$ と、第1の固定磁性層32の $M_s \cdot t_{p1}$ とを足し合わせた、いわゆる合成磁気モーメントは、 $M_s \cdot t_{p2}$ の大きい第2の固定磁性層34の磁気モーメントに支配され、図示Y方向に向けられている。

【0108】一方、フリー磁性層36よりも上側に形成された固定磁性層は、第1の固定磁性層（上）43の $M_s \cdot t_{p1}$ の方が、第2の固定磁性層（上）41の $M_s \cdot t_{p2}$ に比べて大きくなっており、 $M_s \cdot t_{p1}$ の大きい第1の固定磁性層（上）43の磁化が図示Y方向と反対方向に固定されている。第1の固定磁性層（上）43の $M_s \cdot t_{p1}$ と、第2の固定磁性層（上）41の $M_s \cdot t_{p2}$ とを足した、いわゆる合成磁気モーメントは、第1の固定磁性層（上）43の $M_s \cdot t_{p1}$ に支配され、図示Y方向と反対方向に向けられている。

【0109】すなわち、図5に示すデュアルスピンバルブ型薄膜素子では、フリー磁性層36の上下で、第1の固定磁性層の $M_s \cdot t_{p1}$ と第2の固定磁性層の $M_s \cdot t_{p2}$ を足して求めることができる合成磁気モーメントの方向が反対方向になっているのである。このためフリー磁性層36よりも下側で形成される図示Y方向に向けられた合成磁気モーメントと、前記フリー磁性層36よりも上側で形成される図示Y方向と反対方向に向けられた合成磁気モーメントとが、図示左周りの磁界を形成している。従って、前記合成磁気モーメントによって形成される磁界により、第1の固定磁性層（下）32、（上）43の磁化と第2の固定磁性層（下）34、（上）41の磁化とがさらに安定したフェリ状態を保つことが可能である。

【0110】更に、センス電流114は、主に比抵抗の小さい非磁性導電層35、39を中心にして流れ、センス電流114を流すことにより、右ネジの法則によってセンス電流磁界が形成されることになるが、センス電流114を図5の方向に流すことにより、フリー磁性層36の下側に形成された第1の固定磁性層（下）32／非磁性中間層（下）33／第2の固定磁性層（下）34の場所にセンス電流が作るセンス電流磁界の方向を、前記第1の固定磁性層（下）32／非磁性中間層（下）33／第2の固定磁性層（下）34の合成磁気モーメントの方向と一致させることができ、さらに、フリー磁性層36よりも上側に形成された第1の固定磁性層（上）43／非磁性中間層（上）42／第2の固定磁性層（上）41の場所にセンス電流が作るセンス電流磁界を、前記第1の固定磁性層（上）43／非磁性中間層（上）42／第2の固定磁性層（上）41の合成磁気モーメントの方向と一致させることができる。

【0111】センス電流磁界の方向と合成磁気モーメントの方向を一致させることのメリットに関しては後で詳述するが、簡単に言えば、前記固定磁性層の熱的安定性を高めることができることと、大きなセンス電流を流せることができるので、再生出力を向上できるという、非常に大きいメリットがある。センス電流磁界と合成磁気モーメントの方向に関するこれらの関係は、フリー磁性層36の上下に形成される固定磁性層の合成磁気モーメントが図示左周りの磁界を形成しているからである。

【0112】装置内の環境温度は約200℃程度まで上昇し、さらに今後、記録媒体の回転数や、センス電流の

増大などによって、環境温度がさらに上昇する傾向にある。このように環境温度が上昇すると、交換結合磁界は低下するが、本発明によれば、合成磁気モーメントで形成される磁界と、センス電流磁界により、熱的にも安定して第1の固定磁性層（下）32、（上）43の磁化と第2の固定磁性層（下）34、（上）41の磁化とをフェリ状態に保つことができる。

【0113】前述した合成磁気モーメントによる磁界の形成、及び、合成磁気モーメントによる磁界とセンス電流磁界との方向関係は、本発明特有の構成であり、フリー磁性層の上下に単層で形成され、しかも同じ方向に向けられ固定磁化された固定磁性層を有する従来のデュアルスピバルブ型薄膜素子では、得ることができないものとなっている。

【0114】次に、熱処理中に与える磁界の方向及びその大きさについて以下に説明する。図5に示すスピバルブ型薄膜素子では、反強磁性層31、44にPtMn合金など第1の固定磁性層（下）32、（上）43との界面で交換結合磁界（交換異方性磁界）を発生させるために、熱処理に必要な反強磁性材料を使用しているの

で、熱処理中に印加する磁場の方向及びその大きさを適正に制御しないと、第1の固定磁性層（下）32、（上）43と第2の固定磁性層（下）34、（上）41との磁化の方向を図5に示すような方向に得ることができない。

【0115】まず成膜する段階で、図5に示すように、フリー磁性層36よりも下側に形成された第1の固定磁性層（下）32の $M_s \cdot t_{p1}$ を、第2の固定磁性層（下）34の $M_s \cdot t_{p2}$ よりも小さくし、且つ前記フリー磁性層36よりも上側に形成された第1の固定磁性層（上）43の $M_s \cdot t_{p1}$ を第2の固定磁性層（上）41の $M_s \cdot t_{p2}$ よりも大きくする。

【0116】図5に示すように、第1の固定磁性層（下）32、（上）43を図示Y方向と反対方向に向けたい場合には、前述した表1、2を参照することにより、図示Y方向と逆方向に5k（Oe）以上（表1（4）及び表2（4）参照）の磁界を与える必要がある。図示Y方向と反対方向に5k（Oe）以上の磁界を印加することにより、第1の固定磁性層（下）32、（上）43の磁化及び第2の固定磁性層（下）34、（上）41の磁化がすべて一旦図示Y方向と反対方向に向く。前記第1の固定磁性層（下）32、（上）43は、反強磁性層31、44との界面での交換結合磁界（交換異方性磁界）によって、図示Y方向と反対方向に固定され、5k（Oe）以上の磁界を取り去ることにより、第2の固定磁性層（下）34、（上）41の磁化は、第1の固定磁性層（下）32、（上）43との交換結合磁界（RKKY相互作用）によって、図示Y方向に反転し図示Y方向に固定されるのである。あるいは5k

場合には、第1の固定磁性層（下）32、（上）43の磁化と第2の固定磁性層（下）34、（上）41の磁化が図5に示す磁化方向と反対向きに磁化され、右回りの合成磁気モーメントによる磁界が形成される。

【0117】また本発明では、フリー磁性層36よりも下側に形成された第1の固定磁性層（下）32の $M_s \cdot t_{p1}$ を、第2の固定磁性層34の $M_s \cdot t_{p2}$ よりも大きくし、且つ、前記フリー磁性層36よりも上側に形成された第1の固定磁性層43の $M_s \cdot t_{p1}$ を第2の固定磁性層41の $M_s \cdot t_{p2}$ よりも小さくしてもよい。この場合においても、第1の固定磁性層（下）32、（上）43の磁化を得たい方向、すなわち図示Y方向あるいは図示Y方向と反対方向に5k（Oe）以上の磁界を印加することによって、フリー磁性層36の上下に形成された第2の固定磁性層（下）34、（上）41を同じ方向に向けて固定でき、しかも図示右回りのあるいは左回りの合成磁気モーメントによる磁界を形成できる。なお上記した方法以外の方法で、フリー磁性層36の上下に形成された第2の固定磁性層（下）34、（上）41の磁化を互いに同じ方向に向け、しかも合成磁気モーメントによる磁界の形成、及び合成磁気モーメントによる磁界とセンス電流磁界との方向関係の形成を行うことはできない。

【0118】また本発明では以下に示す方法によって、第2の固定磁性層（下）34、（上）41の磁化を互いに同じ方向に向けることが可能であるが、フリー磁性層36の上下に形成される合成磁気モーメントは互いに同じ方向を向くため、前記合成磁気モーメントによる磁界を形成することはできない。しかし、本発明のデュアルスピバルブ型薄膜素子であれば、以下の熱処理方法によっても、従来のデュアルスピバルブ型薄膜素子と同程度の ΔMR を得ることができ、しかも従来のデュアルスピバルブ型薄膜素子に比べ、固定磁性層（第1の固定磁性層と第2の固定磁性層）の磁化状態を熱的に安定した状態に保つことが可能である。

【0119】まず、フリー磁性層36の下側に形成された第1の固定磁性層（下）32の $M_s \cdot t_{p1}$ と前記フリー磁性層36の上側に形成された第1の固定磁性層（上）43の $M_s \cdot t_{p1}$ を共に、第2の固定磁性層（下）34、（上）41の $M_s \cdot t_{p2}$ よりも大きくした場合には、前記第1の固定磁性層（下）32、（上）43の磁化を向けたい方向に、100～1k（Oe）、あるいは5k（Oe）以上の磁界を与えることにより、前記第1の固定磁性層（下）32、（上）43を共に同じ方向に向け、前記第1の固定磁性層（下）32、（上）43との交換結合磁界（RKKY相互作用）によって、前記第1の固定磁性層（下）32、（上）43の磁化と反平行に磁化される第2の固定磁性層（下）34、（上）41の磁化を共に同じ方向に向けて固定すること

【0120】あるいは、フリー磁性層36の下側に形成された第1の固定磁性層(下)32の $M_s \cdot t_{p1}$ と前記フリー磁性層36の上側に形成された第1の固定磁性層(上)43の $M_s \cdot t_{p1}$ を共に、第2の固定磁性層(下)34、(上)41の $M_s \cdot t_{p2}$ よりも小さくした場合には、前記第1の固定磁性層(下)32、(上)43の磁化を向きたい方向と反対方向に、100~1k(Oe)、あるいは、前記第1の固定磁性層(下)32、(上)43の磁化を向きたい方向に5k(Oe)以上の磁界を与えることにより、第1の固定磁性層(下)32、(上)43を共に同じ方向に向け、前記第1の固定磁性層(下)32、(上)43との交換結合磁界(RKKY相互作用)によって、前記第1の固定磁性層(下)32、(上)43の磁化と反平行に磁化される第2の固定磁性層(下)34、(上)41の磁化を共に同じ方向に向けて固定することができる。

【0121】以上、図1から図6に示したスピバルブ型薄膜素子によれば、固定磁性層を非磁性中間層を介して第1の固定磁性層と第2の固定磁性層との2層に分断し、この2層の固定磁性層間に発生する交換結合磁界(RKKY相互作用)によって前記2層の固定磁性層の磁化を反平行状態(フェリ状態)にすることにより、従来に比べて熱的にも安定した固定磁性層の磁化状態を保つことができる。特に本発明では、反強磁性層としてブロッキング温度が非常に高く、また第1の固定磁性層との界面で大きい交換結合磁界(交換異方性磁界)を発生するPtMn合金を使用することにより、第1の固定磁性層と第2の固定磁性層との磁化状態を、より熱的安定性に優れたものにできる。

【0122】また本発明では、第1の固定磁性層と第2の固定磁性層との膜厚比や、前記第1の固定磁性層と第2の固定磁性層との間に介在する非磁性中間層の膜厚、及び反強磁性層の膜厚を適正な範囲内で形成することによって、交換結合磁界(H_{ex})を大きくでき、従って、前記第1の固定磁性層と第2の固定磁性層の固定磁化の熱的安定性をより向上させることが可能である。なお第1の固定磁性層の膜厚 t_{p1} と第2の固定磁性層の膜厚 t_{p2} との膜厚比、さらには、前記第1の固定磁性層、第2の固定磁性層、非磁性中間層、及び反強磁性層の膜厚を適正な範囲内で形成することにより、従来とほぼ同程度の ΔMR を得ることも可能である。

【0123】さらに本発明では、反強磁性層としてPtMn合金など、第1の固定磁性層との界面で交換結合磁界(交換異方性磁界)を発生させるために熱処理を必要とする反強磁性材料を使用した場合に、第1の固定磁性層の $M_s \cdot t_{p1}$ と第2の固定磁性層の $M_s \cdot t_{p2}$ とを異なる値で形成し、さらに熱処理中の印加磁場の大きさ及びその方向を適正に調節することによって、前記第1の固定磁性層(及び第2の固定磁性層)の磁化を得たい方向に磁化させることが可能である。

【0124】特に図5に示すデュアルスピバルブ型薄膜素子においては、第1の固定磁性層(下)32、

(上)43の $M_s \cdot t_{p1}$ と第2の固定磁性層(下)34、(上)41の $M_s \cdot t_{p2}$ を適正に調節し、さらに熱処理中の印加磁場の大きさ及びその方向を適正に調節することによって、 ΔMR に関与するフリー磁性層36の上下に形成された2つの第2の固定磁性層(下)34、(上)41の磁化を共に同じ方向に固定でき、且つフリー磁性層36の上下に形成される合成磁気モーメントを互いに反対方向に形成できることによって、前記合成磁気モーメントによる磁界の形成、及び、前記合成磁気モーメントによる磁界とセンス電流磁界との方向関係の形成ができ、固定磁性層の磁化の熱的安定性をさらに向上させることが可能である。

【0125】図7は、本発明の第4の実施形態のスピバルブ型薄膜素子の構造を模式的に示した横断面図、図8は、図7に示すスピバルブ型薄膜素子を記録媒体との対向面から見た場合の断面図である。このスピバルブ型薄膜素子においても、図1~図6に示すスピバルブ型薄膜素子と同様に、ハードディスク装置に設けられた浮上式スライダのトレーリング側端部などに設けられて、ハードディスクなどの記録磁界を検出するものである。なお、ハードディスクなどの磁気記録媒体の移動方向は図示Z方向であり、磁気記録媒体からの洩れ磁界の方向はY方向である。

【0126】このスピバルブ型薄膜素子は、固定磁性層のみならず、フリー磁性層も非磁性中間層を介して第1のフリー磁性層と第2のフリー磁性層の2層に分断されている。図7、8に示すように下から下地層50、反強磁性層51、第1の固定磁性層52、非磁性中間層53、第2の固定磁性層54、非磁性導電層55、第1のフリー磁性層56、非磁性中間層59、第2のフリー磁性層60、及び保護層61の順に積層されている。

【0127】前記下地層50及び保護層61は例えばTaなどで形成されている。また前記反強磁性層51は、PtMn合金で形成されていることが好ましい。PtMn合金は、従来から反強磁性層として使用されているNiMn合金やFeMn合金などに比べて耐食性に優れ、しかもブロッキング温度が高く、交換結合磁界も大きい。また本発明では、前記PtMn合金に代えて、X-Mn(ただしXは、Pd, Ir, Rh, Ruのいずれか1種または2種以上の元素である)合金、あるいは、Pt-Mn-X'(ただしX'は、Pd, Ir, Rh, Ru, Au, Agのいずれか1種または2種以上の元素である)合金を使用してもよい。

【0128】第1の固定磁性層52及び第2の固定磁性層54は、Co膜、NiFe合金、CoFe合金、あるいはCoNiFe合金などで形成されている。また非磁性中間層53は、Ru, Rh, Ir, Cr, Re, Cuのうち1種あるいは2種以上の合金で形成されているこ

とが好ましい。さらに非磁性導電層55はCuなどで形成されている。

【0129】前記第1の固定磁性層52の磁化と第2の固定磁性層54の磁化は、互いに反平行に磁化されたフェリ状態となっており、例えば第1の固定磁性層52の磁化は図示Y方向に、第2の固定磁性層54の磁化は図示Y方向と反対方向に固定されている。このフェリ状態の安定性を保つためには、大きい交換結合磁界が必要であり、本発明では、より大きな交換結合磁界を得るために、以下に示す種々の適正化を行っている。図7、8に示すスピナルブ型薄膜素子では、(第1の固定磁性層52の膜厚 t_{p1}) / (第2の固定磁性層54の膜厚 t_{p2})は、0.33~0.95、あるいは1.05~4の範囲内であることが好ましく、より好ましくは0.53~0.95、あるいは、1.08~1.8の範囲内とすることである。また第1の固定磁性層52及び第2の固定磁性層54の膜厚にあっては、共に10~70オングストロームで、且つ|第1の固定磁性層52の膜厚 t_{p1} -第2の固定磁性層54の膜厚 t_{p2} | ≥ 2 オングストロームであることが好ましく、より好ましくは、10~50オングストロームで、且つ|第1の固定磁性層52の膜厚 t_{p1} -第2の固定磁性層54の膜厚 t_{p2} | ≥ 2 オングストロームである。

【0130】前述したように、第1の固定磁性層52の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{p1}$ と第2の固定磁性層54の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{p2}$ にある程度差がないと、磁化状態はフェリ状態にはなりにくく、また第1の固定磁性層52の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{p1}$ と第2の固定磁性層54の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{p2}$ の差が大きくなりすぎても、交換結合磁界の低下につながり好ましくない。そこで本発明では、第1の固定磁性層52の膜厚 t_{p1} と第2の固定磁性層54の膜厚 t_{p2} との膜厚比と同じように、(第1の固定磁性層52の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{p1}$) / (第2の固定磁性層54の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{p2}$)は、0.33~0.95、あるいは1.05~4の範囲内とであることが好ましい。また本発明では、第1の固定磁性層52の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{p1}$ 及び第2の固定磁性層54の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{p2}$ が10~70(オングストローム・テスラ)の範囲内で、且つ第1の固定磁性層52の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{p1}$ から第2の固定磁性層54の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{p2}$ を引いた絶対値が2(オングストローム・テスラ)以上であることが好ましい。

【0131】また(第1の固定磁性層52の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{p1}$) / (第2の固定磁性層54の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{p2}$)が、0.53~0.95、あるいは1.05~1.8の範囲内であることがより好ましい。また上記範囲内であって、第1の固定磁性層52の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{p1}$ と第2の固定磁性層54の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{p2}$ は共に10~50(オングストローム・テスラ)の範

$M_s \cdot t_{p1}$ から第2の固定磁性層54の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{p2}$ を引いた絶対値は2(オングストローム・テスラ)以上であることが好ましい。

【0132】また第1の固定磁性層52と第2の固定磁性層54に介在する非磁性中間層53の膜厚は、3.6~9.6オングストロームの範囲内であることが好ましい。この範囲内であれば500(Oe)以上の交換結合磁界を得ることができる。より好ましくは、4~9.4オングストロームの範囲内であり、この範囲内であれば1000(Oe)以上の交換結合磁界を得ることが可能である。さらに反強磁性層51の膜厚は、90オングストローム以上であることが好ましい。この範囲内であれば500(Oe)以上の交換結合磁界を得ることが可能である。より好ましくは、100オングストローム以上であり、この範囲内であれば1000(Oe)以上の交換結合磁界を得ることができる。

【0133】図7、8に示す非磁性導電層55の上には、第1のフリー磁性層56が形成されている。図7、8に示すように前記第1のフリー磁性層56は2層で形成されており、非磁性導電層55に接する側にCo膜57が形成されている。非磁性導電層55に接する側にCo膜57を形成するのは、第1に ΔMR を大きくできること、第2に非磁性導電層55との拡散を防止するためである。前記Co膜57の上にはNiFe合金膜58が形成されている。さらに前記NiFe合金膜58上には、非磁性中間層59が形成されている。そして前記非磁性中間層59の上には、第2のフリー磁性層60が形成され、さらに前記第2のフリー磁性層60上にはTaなどで形成された保護層61が形成されている。前記第2のフリー磁性層60は、Co膜、NiFe合金、CoFe合金、あるいはCoNiFe合金などで形成されている。

【0134】図8に示す下地層50から保護層61までのスピナルブ膜は、その側面が傾斜面に削られ、前記スピナルブ膜は台形状で形成されている。前記スピナルブ膜の両側には、ハードバイアス層62、62及び導電層63、63が形成されている。前記ハードバイアス層62は、Co-Pt合金やCo-Cr-Pt合金などで形成されており、また前記導電層63は、CuやCrなどで形成されている。

【0135】図7、8に示す第1のフリー磁性層56と第2のフリー磁性層60の間には非磁性中間層59が介在し、前記第1のフリー磁性層56と第2のフリー磁性層60間に発生する交換結合磁界(RKKY相互作用)によって、前記第1のフリー磁性層56の磁化と第2のフリー磁性層60の磁化は互いに反平行状態(フェリ状態)になっている。

【0136】図8に示すスピナルブ型薄膜素子では、例えば第1のフリー磁性層56の膜厚 t_{f1} は、第2のフ

る。そして前記第1のフリー磁性層56の $M_s \cdot t_{F1}$ は、第2のフリー磁性層60の $M_s \cdot t_{F2}$ よりも小さく設定されており、ハードバイアス層62から図示X方向にバイアス磁界が与えられると、 $M_s \cdot t_{F2}$ の大きい第2のフリー磁性層60の磁化が前記バイアス磁界の影響を受けて、図示X方向に揃えられ、前記第2のフリー磁性層60との交換結合磁界（RKKY相互作用）によって、 $M_s \cdot t_{F1}$ の小さい第1のフリー磁性層56の磁化は図示X方向と反対方向に揃えられる。

【0137】図示Y方向から外部磁界が侵入してくると、前記第1のフリー磁性層56と第2のフリー磁性層60の磁化はフェリ状態を保ちながら、前記外部磁界の影響を受けて回転する。そして ΔMR に寄与する第1のフリー磁性層56の変動磁化と、第2の固定磁性層54の固定磁化（例えば図示Y方向と反対方向に磁化されている）との関係によって電気抵抗が変化し、外部磁界の信号が検出される。本発明では第1のフリー磁性層56の膜厚 t_{F1} と、第2のフリー磁性層60の膜厚 t_{F2} の膜厚比を適正化し、より大きな交換結合磁界を得ることができると同時に、従来とほぼ同程度の ΔMR を得ることを可能にしている。

【0138】本発明では、（第1のフリー磁性層56の膜厚 t_{F1} ／第2のフリー磁性層60の膜厚 t_{F2} ）が、0.56～0.83、あるいは1.25～5の範囲内であることが好ましい。この範囲内であると、少なくとも500（Oe）以上の交換結合磁界を得ることが可能である。また本発明では、前記（第1のフリー磁性層56の膜厚 t_{F1} ／第2のフリー磁性層60の膜厚 t_{F2} ）は、0.61～0.83、あるいは1.25～2.1の範囲内であることがより好ましい。この範囲内であると少なくとも1000（Oe）以上の交換結合磁界を得ることが可能である。

【0139】なお（第1のフリー磁性層56の膜厚 t_{F1} ／第2のフリー磁性層60の膜厚 t_{F2} ）のうち、0.83～1.25の範囲を除外したのは、前記第1のフリー磁性層56の膜厚 t_{F1} と第2のフリー磁性層60の膜厚 t_{F2} とがほぼ同じ値で形成され、前記第1のフリー磁性層56の $M_s \cdot t_{F1}$ と、第2のフリー磁性層60の $M_s \cdot t_{F2}$ がほぼ同じ値に設定されると、ハードバイアス層62からのバイアス磁界の影響を受けて、第1のフリー磁性層56と第2のフリー磁性層60のどちらの磁化も、前記バイアス磁界方向に向こうとしてしまうため、前記第1のフリー磁性層56の磁化と第2のフリー磁性層60の磁化は反平行状態にならず、安定した磁化状態を保つことが不可能となる。

【0140】また、第1のフリー磁性層56の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{F1}$ と第2のフリー磁性層60の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{F2}$ にある程度差がないと、磁化状態はフェリ状態にはなりにくく、また第1のフリー磁性層56の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{F1}$ と第2のフリー磁性層60の磁気的膜厚

$M_s \cdot t_{F2}$ の差が大きくなりすぎても、交換結合磁界の低下につながり好ましくない。そこで本発明では、第1のフリー磁性層56の膜厚 t_{F1} と第2のフリー磁性層60の膜厚 t_{F2} との膜厚比と同じように、（第1のフリー磁性層56の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{F1}$ ）／（第2のフリー磁性層60の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{F2}$ ）は、0.56～0.83、あるいは1.25～5の範囲内とであることが好ましい。また本発明では、（第1のフリー磁性層56の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{F1}$ ）／（第2のフリー磁性層60の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{F2}$ ）が0.61～0.83、あるいは1.25～2.1の範囲内であることがより好ましい。

【0141】また本発明では、第1のフリー磁性層56と第2のフリー磁性層60との間に介在する非磁性中間層59は、Ru、Rh、Ir、Cr、Re、Cuのうち1種あるいは2種以上の合金で形成されていることが好ましい。さらに前記非磁性中間層59の膜厚は、5.5～10.0オングストロームの範囲内であることが好ましい。この範囲内であれば、500（Oe）以上の交換結合磁界を得ることが可能である。また前記非磁性中間層59の膜厚は、5.9～9.4オングストロームの範囲内であることがより好ましい。この範囲内であれば1000（Oe）以上の交換結合磁界を得ることができ、なお上記の数値範囲内で、第1の固定磁性層52と第2の固定磁性層54の膜厚比、非磁性中間層53及び反強磁性層51の膜厚、さらには第1のフリー磁性層56と第2のフリー磁性層60の膜厚比、及び非磁性中間層59の膜厚を調整することにより、従来と同程度の ΔMR （抵抗変化率）を得ることが可能である。

【0142】次に熱処理の方法について説明する。図7、8に示すスピンバルブ型薄膜素子においては、反強磁性層51にPtMn合金などの熱処理を施すことにより、第1の固定磁性層52との界面にて交換結合磁界（交換異方性磁界）が発生する反強磁性材料を使用している。このため前記熱処理中に印加する磁場の方向及びその大きさを適正に制御して、第1の固定磁性層52及び第2の固定磁性層54の磁化方向を調整する必要がある。

【0143】仮に、第1の固定磁性層52の $M_s \cdot t_{P1}$ の方が、第2の固定磁性層54の $M_s \cdot t_{P2}$ よりも大きい場合には、前記第1の固定磁性層52の磁化を向けた方向に、100～1k（Oe）、あるいは5k（Oe）の磁場を印加すればよい。例えば前記第1の固定磁性層52を図示Y方向に向けたければ、図示Y方向に100～1k（Oe）の磁界を与える。 $M_s \cdot t_{P1}$ の大きい第1の固定磁性層52の磁化は、磁場方向、すなわち図示Y方向に向き、反強磁性層51との界面で発生する交換結合磁界（交換異方性磁界）によって前記第1の固定磁性層52の磁化は図示Y方向に固定される。一方、第2の固定磁性層54の磁化は、第1の固定磁性層

5 2との交換結合磁界(RKKY相互作用)によって、図示Y方向と反対方向に向き固定される。あるいは図示Y方向に5 k (Oe) 以上の磁界を与える。第1の固定磁性層5 2と第2の固定磁性層5 4との交換結合磁界(RKKY相互作用)は、1 k (Oe) ~ 5 k (Oe) 程度なので、5 k (Oe) 以上の磁場が印加されることにより、前記第1の固定磁性層5 2の磁化及び第2の固定磁性層5 4の磁化は共に、図示Y方向に向く。このとき、前記第1の固定磁性層5 2の磁化は、反強磁性層5 1との界面で発生する交換結合磁界(交換異方性磁界)によって図示Y方向に固定される。一方、5 k (Oe) 以上の磁場が取り去られると、第2の固定磁性層5 4の磁化は、前記第1の固定磁性層5 2との交換結合磁界(RKKY相互作用)によって、図示Y方向と反対方向に向けられて固定される。

【0144】また第1の固定磁性層5 2の $M_s \cdot t_{p1}$ の方が、第2の固定磁性層5 4の $M_s \cdot t_{p2}$ よりも小さい場合、前記第1の固定磁性層5 2の磁化を向きたい方向と反対方向に100~1 k (Oe)、または前記第1の固定磁性層5 2の磁化を向きたい方向に5 k (Oe) 以上の磁場を印加すればよい。例えば第1の固定磁性層5 2を図示Y方向に向きたいならば、図示Y方向と反対方向に100~1 k (Oe) の磁場を与える。これによって、 $M_s \cdot t_{p2}$ の大きい第2の固定磁性層5 4の磁化は、前記磁場方向、すなわち図示Y方向と反対方向に向き、前記第2の固定磁性層5 4と交換結合磁界(RKKY相互作用)によって前記第1の固定磁性層5 2の磁化は図示Y方向に向けられる。前記第1の固定磁性層5 2の磁化は、反強磁性層5 1との界面に発生する交換結合磁界(交換異方性磁界)によって図示Y方向に固定され、第2の固定磁性層5 4の磁化は、図示Y方向と反対方向に固定される。あるいは、図示Y方向に5 k (Oe) 以上の磁界を与えられればよい。5 k (Oe) 以上の磁界を与えることにより、第1の固定磁性層5 2及び第2の固定磁性層5 4の磁化は共に図示Y方向に向けられ、前記第1の固定磁性層5 2の磁化は、反強磁性層5 1との界面での交換結合磁界(交換異方性磁界)によって図示Y方向に固定される。5 k (Oe) 以上の磁場が取り除かれると、図示Y方向に向けられていた第2の固定磁性層5 4の磁化は、前記第1の固定磁性層5 2との交換結合磁界(RKKY相互作用)によって図示Y方向と反対方向に向けられ固定される。

【0145】また本発明では、図示X方向及び図示Y方向を正の方向、図示X方向と反対方向及び図示Y方向と反対方向を負の方向とした場合、第1のフリー磁性層5 6の $M_s \cdot t_{p1}$ と第2のフリー磁性層6 0の $M_s \cdot t_{p2}$ を足し合わせた、いわゆる合成磁気モーメントの絶対値は、第1の固定磁性層5 2の $M_s \cdot t_{p1}$ と第2の固定磁性層5 4の $M_s \cdot t_{p2}$ を足し合わせた合成磁気モーメント

$(M_s \cdot t_{p1} + M_s \cdot t_{p2}) / (M_s \cdot t_{p1} + M_s \cdot t_{p2}) > 1$ であることが好ましい。

【0146】第1のフリー磁性層5 6と第2のフリー磁性層6 0との合成磁気モーメントの絶対値を、第1の固定磁性層5 2と第2の固定磁性層5 4との合成磁気モーメントの絶対値よりも大きくすることにより、前記第1のフリー磁性層5 6と第2のフリー磁性層6 0の磁化が、第1の固定磁性層5 2と第2の固定磁性層5 4との合成磁気モーメントの影響を受けにくくなり、前記第1のフリー磁性層5 6及び第2のフリー磁性層6 0の磁化が外部磁界に対して感度良く、回転し、出力を向上させることが可能になる。

【0147】図9は、本発明の第5の実施形態のスピバルブ型薄膜素子を模式図的に示した横断面図、図10は、図9に示すスピバルブ型薄膜素子を記録媒体との対向面から見た場合の断面図である。このスピバルブ型薄膜素子は、図7、8に示すスピバルブ型薄膜素子の積層の順番を逆にしたものである。すなわち下から、下地層7 0、第2のフリー磁性層7 1、非磁性中間層7 2、第1のフリー磁性層7 3、非磁性導電層7 6、第2の固定磁性層7 7、非磁性中間層7 8、第1の固定磁性層7 9、反強磁性層8 0、及び保護層8 1の順で積層されている。

【0148】前記下地層7 0及び保護層8 1は例えばTaなどで形成されている。前記反強磁性層8 0は、PtMn合金で形成されていることが好ましい。PtMn合金は、従来から反強磁性層として使用されているNiMn合金やFeMn合金などに比べて耐食性に優れ、しかもブロッキング温度が高く、交換結合磁界も大きい。また本発明では、前記PtMn合金に代えて、X-Mn(ただしXは、Pd, Ir, Rh, Ruのいずれか1種または2種以上の元素である)合金、あるいは、Pt-Mn-X'(ただしX'は、Pd, Ir, Rh, Ru, Au, Agのいずれか1種または2種以上の元素である)合金を使用してもよい。

【0149】第1の固定磁性層7 9及び第2の固定磁性層7 7は、Co膜、NiFe合金、CoFe合金、あるいはCoNiFe合金などで形成されている。また非磁性中間層7 8は、Ru, Rh, Ir, Cr, Re, Cuのうち1種あるいは2種以上の合金で形成されていることが好ましい。さらに非磁性導電層7 6はCuなどで形成されている。

【0150】また図9、10に示すスピバルブ型薄膜素子では、(第1の固定磁性層7 9の膜厚 t_{p1}) / (第2の固定磁性層7 7の膜厚 t_{p2})は、0.33~0.95、あるいは1.05~4.0の範囲内であることが好ましく、しかも第1の固定磁性層7 9の膜厚 t_{p1} 及び第2の固定磁性層7 7の膜厚 t_{p2} は共に10~70オングストロームの範囲内であり、且つ、|第1の固定磁性層7 9

ングストローム以上であることが好ましい。上記範囲内で適正に調節すれば、500 (Oe) 以上の交換結合磁界を得ることが可能である。

【0151】さらに本発明では、(第1の固定磁性層79の膜厚 t_{p1}) / (第2の固定磁性層77の膜厚 t_{p2}) は、0.53~0.95、あるいは1.05~1.8の範囲内であることがより好ましく、しかも第1の固定磁性層79の膜厚 t_{p1} 及び第2の固定磁性層77の膜厚 t_{p2} は共に10~50オングストロームの範囲内であり、且つ、|第1の固定磁性層79の膜厚 t_{p1} - 第2の固定磁性層77の膜厚 t_{p2} | \geq 2オングストローム以上であることがより好ましい。上記範囲内で適正に調節すれば、1000 (Oe) 以上の交換結合磁界を得ることが可能である。

【0152】前述したように、第1の固定磁性層79の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{p1}$ と第2の固定磁性層77の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{p2}$ にある程度差がないと、磁化状態はフェリ状態にはなにくく、また第1の固定磁性層79の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{p1}$ と第2の固定磁性層77の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{p2}$ の差が大きくなりすぎても、交換結合磁界の低下につながり好ましくない。そこで本発明では、第1の固定磁性層79の膜厚 t_{p1} と第2の固定磁性層77の膜厚 t_{p1} との膜厚比と同じように、(第1の固定磁性層79の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{p1}$) / (第2の固定磁性層77の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{p2}$) は、0.33~0.95、あるいは1.05~4の範囲内であることが好ましい。また本発明では、第1の固定磁性層79の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{p1}$ 及び第2の固定磁性層77の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{p2}$ が10~70 (オングストローム・テスラ) の範囲内で、且つ第1の固定磁性層79の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{p1}$ から第2の固定磁性層77の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{p2}$ を引いた絶対値が2 (オングストローム・テスラ) 以上であることが好ましい。

【0153】また(第1の固定磁性層79の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{p1}$) / (第2の固定磁性層77の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{p2}$) が、0.53~0.95、あるいは1.05~1.8の範囲内であることがより好ましい。また上記範囲内であって、第1の固定磁性層79の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{p1}$ と第2の固定磁性層77の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{p2}$ は共に10~50 (オングストローム・テスラ) の範囲内であり、しかも第1の固定磁性層79の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{p1}$ から第2の固定磁性層77の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{p2}$ を引いた絶対値は2 (オングストローム・テスラ) 以上であることが好ましい。

【0154】また第1の固定磁性層79と第2の固定磁性層77との間に介在する非磁性中間層78の膜厚は、2.5~6.4、あるいは、6.6~10.7オングストロームの範囲内であることが好ましい。この範囲内であれば500 (Oe) 以上の交換結合磁界を得ることができる。より好ましくは、2.8~6.2オングストロ

ーム、あるいは6.8~10.3オングストロームの範囲内であり、この範囲内であれば1000 (Oe) 以上の交換結合磁界を得ることが可能である。さらに反強磁性層80の膜厚は、90オングストローム以上であることが好ましい。この範囲内であれば500 (Oe) 以上の交換結合磁界を得ることが可能である。より好ましくは、100オングストローム以上であり、この範囲内であれば1000 (Oe) 以上の交換結合磁界を得ることができる。

【0155】図10に示すスピバルブ型薄膜素子では、フリー磁性層が2層に分断されて形成されており、非磁性導電層76に接する側に第1のフリー磁性層73が形成され、もう一方のフリー磁性層が、第2のフリー磁性層71となっている。図10に示すように第1のフリー磁性層73は2層で形成されており、非磁性導電層76に接する側に形成された層75はCo膜で形成されている。また、非磁性中間層72に接する側に形成された層74と、第2のフリー磁性層71は、例えば、NiFe合金、CoFe合金、あるいはCoNiFe合金などで形成されている。

【0156】図10に示す下地層70から保護層81までのスピバルブ膜は、その側面が傾斜面に削られ、前記スピバルブ膜は台形状で形成されている。前記スピバルブ膜の両側には、ハードバイアス層82、82及び導電層83、83が形成されている。前記ハードバイアス層82は、Co-Pt合金やCo-Cr-Pt合金などで形成されており、また前記導電層83は、CuやCrなどで形成されている。

【0157】図10に示す第1のフリー磁性層73と第2のフリー磁性層71の間には非磁性中間層72が介在し、前記第1のフリー磁性層73と第2のフリー磁性層71間に発生する交換結合磁界(RKKY相互作用)によって、前記第1のフリー磁性層73の磁化と第2のフリー磁性層71の磁化は反平行状態(フェリ状態)となっている。図10に示すスピバルブ型薄膜素子では、例えば第1のフリー磁性層73の膜厚 T_{F1} は、第2のフリー磁性層71の膜厚 T_{F2} より大きく形成されている。そして前記第1のフリー磁性層73の $M_s \cdot t_{F1}$ は、第2のフリー磁性層71の $M_s \cdot t_{F2}$ よりも大きくなるように設定されており、ハードバイアス層82から図示X方向にバイアス磁界が与えられると、 $M_s \cdot t_{F1}$ の大きい第1のフリー磁性層73の磁化が前記バイアス磁界の影響を受けて、図示X方向に揃えられ、前記第1のフリー磁性層73との交換結合磁界(RKKY相互作用)によって $M_s \cdot t_{F2}$ の小さい第2のフリー磁性層71の磁化は図示X方向と反対方向に揃えられる。なお本発明では、第1のフリー磁性層73の膜厚 t_{F1} が、第2のフリー磁性層71の膜厚 t_{F2} よりも小さく形成され、前記第1のフリー磁性層73の $M_s \cdot t_{F1}$ が第2のフリー磁性層71の $M_s \cdot t_{F2}$ よりも小さく設定されていてもよ

い。

【0158】図示Y方向から外部磁界が侵入してくると、前記第1のフリー磁性層73と第2のフリー磁性層71の磁化はフェリ状態を保ちながら、前記外部磁界の影響を受けて回転する。そして ΔMR に寄与する第1のフリー磁性層73の磁化方向と、第2の固定磁性層71の固定磁化との関係によって電気抵抗が変化し、外部磁界の信号が検出される。本発明では第1のフリー磁性層73の膜厚 t_{F1} と、第2のフリー磁性層71の膜厚 t_{F2} の膜厚比を適正化し、より大きな交換結合磁界を得ることができると同時に、従来とほぼ同程度の ΔMR を得ることを可能にしている。

【0159】本発明では、(第1のフリー磁性層73の膜厚 t_{F1} /第2のフリー磁性層71の膜厚 t_{F2})が、0.56~0.83、あるいは1.25~5の範囲内であることが好ましい。この範囲内であると、少なくとも500(Oe)以上の交換結合磁界を得ることが可能である。また本発明では、前記(第1のフリー磁性層73の膜厚 t_{F1} /第2のフリー磁性層71の膜厚 t_{F2})は、0.61~0.83、あるいは1.25~2.1の範囲内であることがより好ましい。この範囲内であると少なくとも1000(Oe)以上の交換結合磁界を得ることが可能である。

【0160】また、第1のフリー磁性層73の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{F1}$ と第2のフリー磁性層71の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{F2}$ にある程度差がないと、磁化状態はフェリ状態にはなりにくく、また第1のフリー磁性層73の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{F1}$ と第2のフリー磁性層71の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{F2}$ の差が大きくなりすぎても、交換結合磁界の低下につながり好ましくない。そこで本発明では、第1のフリー磁性層73の膜厚 t_{F1} と第2のフリー磁性層71の膜厚 t_{F2} との膜厚比と同じように、(第1のフリー磁性層73の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{F1}$)/(第2のフリー磁性層71の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{F2}$)は、0.56~0.83、あるいは1.25~5の範囲内であることが好ましい。また本発明では、(第1のフリー磁性層73の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{F1}$)/(第2のフリー磁性層71の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{F2}$)が0.61~0.83、あるいは1.25~2.1の範囲内であることがより好ましい。

【0161】また本発明では、第1のフリー磁性層73と第2のフリー磁性層71との間に介在する非磁性中間層72は、Ru、Rh、Ir、Cr、Re、Cuのうち1種あるいは2種以上の合金で形成されていることが好ましい。さらに前記非磁性中間層72の膜厚は、5.5~10.0オングストロームの範囲内であることが好ましい。この範囲内であれば、500(Oe)以上の交換結合磁界を得ることが可能である。また前記非磁性中間層72の膜厚は、5.9~9.4オングストロームの範

000(Oe)以上の交換結合磁界を得ることができ。なお第1の固定磁性層79と第2の固定磁性層77の膜厚比、非磁性中間層78及び反強磁性層80の膜厚、さらには、第1のフリー磁性層73と第2のフリー磁性層71との膜厚比、及び非磁性中間層72の膜厚を、上述した範囲内で適正に調節すれば、従来と同程度の ΔMR (抵抗変化率)を得ることが可能である。

【0162】次に熱処理の方法について説明する。仮に、第1の固定磁性層79の $M_s \cdot t_{P1}$ の方が、第2の固定磁性層77の $M_s \cdot t_{P2}$ よりも大きい場合には、前記第1の固定磁性層79の磁化を向けたい方向に、100~1k(Oe)、あるいは5k(Oe)の磁界を与えれば良い。あるいは、第1の固定磁性層79の $M_s \cdot t_{P1}$ の方が、第2の固定磁性層77の $M_s \cdot t_{P2}$ よりも小さい場合、前記第1の固定磁性層79の磁化を向けたい方向と反対方向に100~1k(Oe)、または前記第1の固定磁性層79の磁化を向けたい方向に5k(Oe)以上の磁界を与えられればよい。本発明においては、前記第1の固定磁性層79の磁化は、図示Y方向に固定され、前記第2の固定磁性層77の磁化は図示Y方向と反対方向に固定されている。あるいは前記第1の固定磁性層79の磁化は、図示Y方向と反対方向に固定され、前記第2の固定磁性層77の磁化は、図示Y方向に固定されている。

【0163】また本発明では、図示X方向及び図示Y方向を正の方向、図示X方向と反対方向及び図示Y方向と反対方向を負の方向とした場合、第1のフリー磁性層73の $M_s \cdot t_{F1}$ と第2のフリー磁性層71の $M_s \cdot t_{F2}$ を足し合わせた、いわゆる合成磁気モーメントの絶対値は、第1の固定磁性層79の $M_s \cdot t_{P1}$ と第2の固定磁性層77の $M_s \cdot t_{P2}$ を足し合わせた合成磁気モーメントの絶対値よりも大きい方が好ましい。すなわち、 $|(M_s \cdot t_{F1} + M_s \cdot t_{F2}) / (M_s \cdot t_{P1} + M_s \cdot t_{P2})| > 1$ であることが好ましい。

【0164】第1のフリー磁性層73と第2のフリー磁性層71との合成磁気モーメントの絶対値を、第1の固定磁性層79と第2の固定磁性層77との合成磁気モーメントの絶対値よりも大きくすることにより、前記第1のフリー磁性層79と、第2のフリー磁性層77の磁化が、第1の固定磁性層79と第2の固定磁性層77との合成磁気モーメントの影響を受けにくくなり、前記第1のフリー磁性層73及び第2のフリー磁性層71の磁化が外部磁界に対して感度良く、回転し、出力を向上させることが可能になる。

【0165】図11は本発明の第6の実施形態のスピンバルブ型薄膜素子の構造を表す横断面図であり、図12は図11に示すスピンバルブ型薄膜素子を、記録媒体との対向面側から見た断面図である。このスピンバルブ型薄膜素子は、フリー磁性層を中心にしてその上下に非磁

ュアルスピンバルブ型薄膜素子であり、前記フリー磁性層、及び固定磁性層が、非磁性中間層を介して2層に分断されて形成されている。

【0166】図11、12に示す最も下側に形成されている層は、下地層91であり、この下地層91の上に反強磁性層92、第1の固定磁性層(下)93、非磁性中間層94(下)、第2の固定磁性層(下)95、非磁性導電層96、第2のフリー磁性層97、非磁性中間層100、第1のフリー磁性層101、非磁性導電層104、第2の固定磁性層(上)105、非磁性中間層(上)106、第1の固定磁性層(上)107、反強磁性層108、及び保護層109が形成されている。

【0167】まず材質について説明する。反強磁性層92、108は、PtMn合金で形成されていることが好ましい。PtMn合金は、従来から反強磁性層として使用されているNiMn合金やFeMn合金などに比べて耐食性に優れ、しかもブロッキング温度が高く、交換結合磁界(交換異方性磁界)も大きい。また本発明では、前記PtMn合金に代えて、X-Mn(ただしXは、Pd, Ir, Rh, Ruのいずれか1種または2種以上の元素である)合金、あるいは、Pt-Mn-X'(ただしX'は、Pd, Ir, Rh, Ru, Au, Agのいずれか1種または2種以上の元素である)合金を使用してもよい。

【0168】第1の固定磁性層(下)93、(上)107、及び第2の固定磁性層(下)95、(上)105は、Co膜、NiFe合金、CoFe合金、あるいはCoNiFe合金などで形成されている。また第1の固定磁性層(下)93、(上)107と第2の固定磁性層(下)95、(上)105間に形成されている非磁性中間層(下)94、(上)106及び第1のフリー磁性層101と第2のフリー磁性層97間に形成されている非磁性中間層100は、Ru、Rh、Ir、Cr、Re、Cuのうち1種あるいは2種以上の合金で形成されていることが好ましい。さらに非磁性導電層96、104はCuなどで形成されている。

【0169】図11に示すように、第1のフリー磁性層101及び第2のフリー磁性層97は2層で形成されている。非磁性導電層96、104に接する側に形成された第1のフリー磁性層101の層103及び第2のフリー磁性層97の層98はCo膜で形成されている。また、非磁性中間層100を介して形成されている第1のフリー磁性層101の層102及び第2のフリー磁性層97の層99は、例えば、NiFe合金、CoFe合金、あるいはCoNiFe合金などで形成されている。非磁性導電層96、104側に接する層98、103をCo膜で形成することにより、ΔMRを大きくでき、しかも非磁性導電層96、104との拡散を防止することができる。

【0170】次に各層の膜厚の適正範囲について説明す

る。まずフリー磁性層の下側に形成されている第1の固定磁性層(下)93の膜厚 t_{p1} と、第2の固定磁性層

(下)95の膜厚 t_{p2} との膜厚比、及びフリー磁性層の上側に形成されている第1の固定磁性層(上)107の膜厚 t_{p1} と第2の固定磁性層(上)105の膜厚 t_{p2} との膜厚比は、(第1の固定磁性層(下)93、(上)107の膜厚 t_{p1}) / (第2の固定磁性層(下)95、

(上)105の膜厚 t_{p2})は、0.33~0.95、あるいは1.05~4の範囲内であることが好ましく、しかも、第1の固定磁性層(下)93、(上)107及び第2の固定磁性層(下)95、(上)105の膜厚は、共に10~70オングストロームの範囲内で形成され、且つ、|第1の固定磁性層(下)93、(上)107の膜厚 t_{p1} -第2の固定磁性層(下)95、(上)105の膜厚 t_{p2} | ≥ 2 オングストロームで形成されていることが好ましい。上記範囲内であれば500(Oe)以上の交換結合磁界を得ることが可能である。

【0171】また本発明では、(第1の固定磁性層(下)93、(上)107の膜厚 t_{p1}) / (第2の固定磁性層(下)95、(上)105の膜厚 t_{p2})は、0.53~0.95、あるいは1.05~1.8の範囲内であることが好ましく、しかも、第1の固定磁性層(下)93、(上)107及び第2の固定磁性層(下)95、(上)105の膜厚は、共に10~50オングストロームの範囲内で形成され、且つ、|第1の固定磁性層(下)93、(上)107の膜厚 t_{p1} -第2の固定磁性層(下)95、(上)105の膜厚 t_{p2} | ≥ 2 オングストロームで形成されていることが好ましい。上記範囲内であれば1000(Oe)以上の交換結合磁界を得ることが可能である。

【0172】ところで、本発明では前述したように、反強磁性層92、108としてPtMn合金など、第1の固定磁性層(下)93、(上)107との界面で交換結合磁界(交換異方性磁界)を発生させるために熱処理を必要とする反強磁性材料を使用している。しかし、フリー磁性層よりも下側に形成されている反強磁性層92と第1の固定磁性層(下)93との界面では、金属元素の拡散が発生しやすく熱拡散層が形成されやすくなっているために、前記第1の固定磁性層(下)93として機能する磁気的な膜厚は実際の膜厚 t_{p1} よりも薄くなっている。従ってフリー磁性層よりも上側の積層膜で発生する交換結合磁界と、下側の積層膜から発生する交換結合磁界をほぼ等しくするには、フリー磁性層よりも下側に形成されている(第1の固定磁性層(下)93の膜厚 t_{p1} / 第2の固定磁性層(下)95の膜厚 t_{p2})が、フリー磁性層よりも上側に形成されている(第1の固定磁性層(上)107の膜厚 t_{p1} / 第2の固定磁性層(上)105の膜厚 t_{p2})よりも大きい方が好ましい。フリー磁性層よりも上側の積層膜から発生する交換結合磁界と、下側の積層膜から発生する交換結合磁界とを等しくすること

により、前記交換結合磁界の製造プロセス劣化が少なく、磁気ヘッドの信頼性を向上させることができる。

【0173】前述したように、第1の固定磁性層（下）93、（上）107の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{p1}$ と第2の固定磁性層（下）95、（上）105の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{p2}$ にある程度差がないと、磁化状態はフェリ状態にはなりにくく、また第1の固定磁性層（下）93、（上）107の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{p1}$ と第2の固定磁性層（下）95、（上）105の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{p2}$ の差が大きくなりすぎても、交換結合磁界の低下につながり好ましくない。そこで本発明では、第1の固定磁性層（下）93、（上）107の膜厚 t_{p1} と第2の固定磁性層（下）95、（上）105の膜厚 t_{p2} の膜厚比と同じように、（第1の固定磁性層（下）93、（上）107の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{p1}$ ）／（第2の固定磁性層（下）95、（上）105の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{p2}$ ）は、0.33～0.95、あるいは1.05～4の範囲内とであることが好ましい。また本発明では、第1の固定磁性層（下）93、（上）107の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{p1}$ 及び第2の固定磁性層（下）95、（上）105の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{p2}$ が10～70（オングストローム・テスラ）の範囲内、かつ第1の固定磁性層（下）93、（上）107の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{p1}$ から第2の固定磁性層（下）95、（上）105の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{p2}$ を引いた絶対値が2（オングストローム・テスラ）以上であることが好ましい。

【0174】また（第1の固定磁性層（下）93、（上）107の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{p1}$ ）／（第2の固定磁性層（下）95、（上）105の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{p2}$ ）が、0.53～0.95、あるいは1.05～1.8の範囲内であることがより好ましい。また上記範囲内であって、第1の固定磁性層（下）93、（上）107の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{p1}$ と第2の固定磁性層（下）95、（上）105の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{p2}$ は共に10～50（オングストローム・テスラ）の範囲内であり、しかも第1の固定磁性層（下）93、（上）107の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{p1}$ から第2の固定磁性層（下）95、（上）105の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{p2}$ を引いた絶対値は2（オングストローム・テスラ）以上であることが好ましい。

【0175】また本発明では、フリー磁性層よりも下側に形成されている第1の固定磁性層（下）93と第2の固定磁性層（下）95の間に介在する非磁性中間層（下）94の膜厚は、3.6～9.6オングストロームの範囲内であることが好ましい。この範囲内であれば500（Oe）以上の交換結合磁界を得ることができる。より好ましくは、4～9.4オングストロームの範囲内であり、この範囲内であれば1000（Oe）以上の交換結合磁界を得ることが可能である。またフリー磁性層

07と第2の固定磁性層（上）105との間に介在する非磁性中間層（上）106の膜厚は、2.5～6.4オングストローム、あるいは6.6～10.7オングストロームの範囲内であることが好ましい。この範囲内であると少なくとも500（Oe）以上の交換結合磁界を得ることが可能である。また、2.8～6.2オングストローム、あるいは6.8～10.3オングストロームの範囲内であることがより好ましく、この範囲内であれば1000（Oe）以上の交換結合磁界を得ることができる。

【0176】さらに本発明では、反強磁性層92、108の膜厚は、100オングストローム以上であることが好ましく、前記反強磁性層92、108を100オングストローム以上で形成することにより、少なくとも500（Oe）以上の交換結合磁界を得ることができる。また本発明では、前記反強磁性層92、108の膜厚を110オングストローム以上で形成すれば、少なくとも1000（Oe）以上の交換結合磁界を得ることができる。

【0177】また本発明では、第1のフリー磁性層101の膜厚を t_{f1} とし、第2のフリー磁性層97の膜厚を t_{f2} とした場合、（第1のフリー磁性層101の膜厚 t_{f1} ／第2のフリー磁性層97の膜厚 t_{f2} ）は、0.56～0.83、あるいは1.25～5の範囲内であることが好ましい。この範囲内であると500（Oe）以上の交換結合磁界を得ることが可能である。また、前記（第1のフリー磁性層の膜厚／第2のフリー磁性層の膜厚）は、0.61～0.83、あるいは1.25～2.1の範囲内であることがより好ましく、この範囲内であると、1000（Oe）以上の交換結合磁界を得ることができる。

【0178】また、第1のフリー磁性層101の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{f1}$ と第2のフリー磁性層97の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{f2}$ にある程度差がないと、磁化状態はフェリ状態にはなりにくく、また第1のフリー磁性層101の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{f1}$ と第2のフリー磁性層97の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{f2}$ の差が大きくなりすぎても、交換結合磁界の低下につながり好ましくない。そこで本発明では、第1のフリー磁性層101の膜厚 t_{f1} と第2のフリー磁性層97の膜厚 t_{f2} との膜厚比と同じように、（第1のフリー磁性層101の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{f1}$ ）／（第2のフリー磁性層97の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{f2}$ ）は、0.56～0.83、あるいは1.25～5の範囲内であることが好ましい。また本発明では、（第1のフリー磁性層101の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{f1}$ ）／（第2のフリー磁性層97の磁気的膜厚 $M_s \cdot t_{f2}$ ）が0.61～0.83、あるいは1.25～2.1の範囲内であることがより好ましい。

【0179】また、第1のフリー磁性層101と第2の

は、その膜厚が、5.5～10.0オングストロームの範囲内で形成されていることが好ましく、この範囲内であると、500 (Oe) 以上の交換結合磁界を得ることが可能である。また、前記非磁性中間層100の膜厚は、5.9～9.4オングストロームの範囲内であることがより好ましく、この範囲内であると1000 (Oe) 以上の交換結合磁界を得ることができる。

【0180】なお本発明では、第1の固定磁性層(下)93、(上)107と第2の固定磁性層(下)95、(上)105との膜厚比、第1の固定磁性層(下)93、(上)107と第2の固定磁性層(下)95、(上)105、非磁性中間層(下)94、(上)106、及び反強磁性層92、108の膜厚、さらには、第1のフリー磁性層101と第2のフリー磁性層97の膜厚比、及び非磁性中間層100の膜厚を上記範囲内で適正に調節すれば、従来と同程度の Δ MRを得ることが可能である。

【0181】ところで、図11、12に示すデュアルスピバルブ型薄膜素子においては、フリー磁性層の上下に形成されている第2の固定磁性層(下)95、(上)105の磁化を互いに反対方向に向けておく必要がある。これはフリー磁性層が第1のフリー磁性層101と第2のフリー磁性層97の2層に分断されて形成されており、前記第1のフリー磁性層101の磁化と第2のフリー磁性層97の磁化とが反平行になっているからである。例えば図11、12に示すように、第1のフリー磁性層101の磁化が図示X方向と反対方向に磁化されているとすると、前記第1のフリー磁性層101との交換結合磁界(RKKY相互作用)によって、第2のフリー磁性層97の磁化は、図示X方向に磁化された状態となっている。前記第1のフリー磁性層101及び第2のフリー磁性層97の磁化は、フェリ状態を保ちながら、外部磁界の影響を受けて反転するようになっている。

【0182】図11、図12に示すデュアルスピバルブ型薄膜素子にあっては、第1のフリー磁性層101の磁化及び第2のフリー磁性層97の磁化は共に Δ MRに関与する層となっており、前記第1のフリー磁性層101及び第2のフリー磁性層97の変動磁化と、第2の固定磁性層(下)95、(上)105の固定磁化との関係で電気抵抗が変化する。シングルスピンバルブ型薄膜素子に比べ大きい Δ MRを期待できるデュアルスピバルブ型薄膜素子としての機能を発揮させるには、第1のフリー磁性層101と第2の固定磁性層(上)105との抵抗変化及び、第2のフリー磁性層97と第2の固定磁性層(下)95との抵抗変化が、共に同じ変動を見せるように、前記第2の固定磁性層(下)95、(上)105の磁化方向を制御する必要がある。すなわち、第1のフリー磁性層101と第2の固定磁性層(上)105との抵抗変化が最大になるとき、第2のフリー磁性層97と第2の固定磁性層(下)95との抵抗変化も最大に

なるようにし、第1のフリー磁性層101と第2の固定磁性層(上)105との抵抗変化が最小になるとき、第2のフリー磁性層97と第2の固定磁性層(下)95との抵抗変化も最小になるようにすればよいのである。

【0183】よって図11、12に示すデュアルスピバルブ型薄膜素子では、第1のフリー磁性層101と第2のフリー磁性層97の磁化が反平行に磁化されているため、第2の固定磁性層(上)105の磁化と第2の固定磁性層(下)95の磁化を互いに反対方向に磁化する必要があるのである。本発明では、上記のような理由から、第2の固定磁性層(下)95の磁化と、第2の固定磁性層(上)105の磁化とを反対方向に向けて固定しているが、このような磁化方向の制御を行うためには、各固定磁性層の $M_s \cdot t$ と、熱処理中に与える磁場の方向及び大きさを適正に調節する必要がある。

【0184】まず各固定磁性層の $M_s \cdot t$ については、フリー磁性層よりも上側に形成されている第1の固定磁性層(上)107の $M_s \cdot t_{p1}$ を、第2の固定磁性層(上)105の $M_s \cdot t_{p2}$ よりも大きくし、且つ、フリー磁性層よりも下側に形成されている第1の固定磁性層(下)93の $M_s \cdot t_{p1}$ を、第2の固定磁性層(下)95の $M_s \cdot t_{p2}$ よりも小さくするか、あるいは、フリー磁性層よりも上側に形成されている第1の固定磁性層(上)107の $M_s \cdot t_{p1}$ を、第2の固定磁性層105(上)の $M_s \cdot t_{p2}$ よりも小さくし、且つ、フリー磁性層よりも下側に形成されている第1の固定磁性層(下)93の $M_s \cdot t_{p1}$ を、第2の固定磁性層(下)95の $M_s \cdot t_{p2}$ よりも大きくする必要がある。

【0185】本発明では、反強磁性層92、108としてPtMn合金など磁場中アニール(熱処理)を施すことにより、第1の固定磁性層(下)93、(上)107との界面で交換結合磁界を発生する反強磁性材料を使用しているので、熱処理中に印加する磁場の方向とその大きさを適正に調節しなければならない。本発明では、フリー磁性層よりも上側に形成されている第1の固定磁性層(上)107の $M_s \cdot t_{p1}$ を、第2の固定磁性層(上)105の $M_s \cdot t_{p2}$ よりも大きくし、且つ、フリー磁性層よりも下側に形成されている第1の固定磁性層(下)93の $M_s \cdot t_{p1}$ を、第2の固定磁性層(下)95の $M_s \cdot t_{p2}$ よりも小さくした場合にあっては、フリー磁性層よりも上側に形成されている第1の固定磁性層(上)107の磁化を向けたい方向に、100～1k (Oe) の磁界を与える。

【0186】例えば、図11に示すように、前記第1の固定磁性層(上)107の磁化を図示Y方向に向けた場合には、図示Y方向に100～1k (Oe) の磁界を与える。ここで $M_s \cdot t_{p1}$ の大きい前記第1の固定磁性層(上)107と、フリー磁性層よりも下側に形成された第2の固定磁性層(下)95が共に前記印加磁場の方向、すなわち図示Y方向に向く。一方、フリー磁性層よ

りも上側に形成された $M_s \cdot t_{p2}$ の小さい第2の固定磁性層（上）105の磁化は、第1の固定磁性層（上）107との交換結合磁界（RKKY相互作用）によって、前記第1の固定磁性層（上）107の磁化方向と反平行に磁化される。同様にフリー磁性層よりも下側に形成された $M_s \cdot t_{p1}$ の小さい第1の固定磁性層（下）93の磁化は、第2の固定磁性層（下）95の磁化とフェリ状態になろうとして、図示Y方向と反対方向に磁化される。熱処理によって反強磁性層108との界面で発生する交換結合磁界（交換異方性磁界）により、フリー磁性層よりも上側に形成された第1の固定磁性層（上）107の磁化は図示Y方向に固定され、第2の固定磁性層（上）105の磁化は図示Y方向と反対方向に固定される。同様に、交換結合磁界（交換異方性磁界）によって、フリー磁性層よりも下側に形成されている第1の固定磁性層（下）93の磁化は、図示Y方向と反対方向に固定され、第2の固定磁性層（下）95の磁化は図示Y方向に固定される。

【0187】またフリー磁性層よりも上側に形成されている第1の固定磁性層（上）107の $M_s \cdot t_{p1}$ を、第2の固定磁性層（上）105の $M_s \cdot t_{p2}$ よりも小さくし、且つ、フリー磁性層よりも下側に形成されている第1の固定磁性層（下）93の $M_s \cdot t_{p1}$ を、第2の固定磁性層（下）95の $M_s \cdot t_{p2}$ よりも大きくした場合に、フリー磁性層よりも下側に形成された第1の固定磁性層（下）93の磁化を向けたい方向に、磁界を100～1k（Oe）与える。以上のようにして、フリー磁性層の上下に形成された第2の固定磁性層（下）95、（上）105を反対方向に磁化することで、従来のデュアルスピバルブ型薄膜素子と同程度の ΔMR を得ることができる。

【0188】また本発明では、フェリ状態の第1のフリー磁性層101の磁化と第2のフリー磁性層97の磁化とを、外部磁界に対してより感度良く反転できるようにするために、第1のフリー磁性層101の磁気モーメントと第2のフリー磁性層97の磁気モーメントとを足し合わせた合成磁気モーメントが、前記フリー磁性層よりも下側に形成されている第1の固定磁性層（下）93の磁気モーメントと第2の固定磁性層（下）95の磁気モーメントとを足し合わせた合成磁気モーメント、及びフリー磁性層よりも上側に形成されている第1の固定磁性層（上）107の磁気モーメントと第2の固定磁性層（上）105の磁気モーメントとを足し合わせた合成磁気モーメントよりも大きくなるようにすればよい。すなわち、例えば、図示X方向及び図示Y方向の磁気モーメントを正の値、図示X方向と反対方向及び図示Y方向と反対方向の磁気モーメントを負の値とした場合、合成磁気モーメント $|M_s \cdot t_{p1} + M_s \cdot t_{p2}|$ が、第1の固定磁性層（上）107と第2の固定磁性層（上）105

$M_s \cdot t_{p1} + M_s \cdot t_{p2}|$ 及び、第1の固定磁性層（下）93及び第2の固定磁性層（下）95との合成磁気モーメント $|M_s \cdot t_{p1} + M_s \cdot t_{p2}|$ よりも大きくなっていることが好ましい。以上、図7から図12に示すスピバルブ型薄膜素子では、固定磁性層のみならず、フリー磁性層も、非磁性中間層を介して第1のフリー磁性層と第2のフリー磁性層の2層に分断し、この2層のフリー磁性層の間に発生する交換結合磁界（RKKY相互作用）によって前記2層のフリー磁性層の磁化を反平行状態（フェリ状態）にすることにより、前記第1のフリー磁性層と第2のフリー磁性層の磁化を、外部磁界に対して感度良く反転できるようにしている。

【0189】また本発明では、第1のフリー磁性層と第2のフリー磁性層との膜厚比や、前記第1のフリー磁性層と第2のフリー磁性層との間に介在する非磁性中間層の膜厚、あるいは第1の固定磁性層と第2の固定磁性層との膜厚比や、前記第1の固定磁性層と第2の固定磁性層との間に介在する非磁性中間層の膜厚、及び反強磁性層の膜厚などを適正な範囲内で形成することによって、交換結合磁界を大きくすることができ、第1の固定磁性層と第2の固定磁性層との磁化状態を固定磁化として、第1のフリー磁性層と第2のフリー磁性層との磁化状態を変動磁化として、熱的にも安定したフェリ状態に保つことが可能であり、しかも従来と同程度の ΔMR を得ることが可能となっている。本発明では、さらにセンス電流の方向を調節することで、第1の固定磁性層の磁化と第2の固定磁性層の磁化との反平行状態（フェリ状態）を、より熱的にも安定した状態に保つことが可能となっている。

【0190】スピバルブ型薄膜素子では、反強磁性層、固定磁性層、非磁性導電層、及びフリー磁性層から成る積層膜の両側に導電層が形成されており、この導電層からセンス電流が流される。前記センス電流は、比抵抗の小さい前記非磁性導電層と、前記非磁性導電層と固定磁性層との界面、及び非磁性導電層とフリー磁性層との界面に主に流れる。本発明では、前記固定磁性層は第1の固定磁性層と第2の固定磁性層とに分断されており、前記センス電流は主に第2の固定磁性層と非磁性導電層との界面に流れている。前記センス電流を流すと、右ネジの法則によって、センス電流磁界が形成される。本発明では前記センス電流磁界を第1の固定磁性層の磁気モーメントと第2の固定磁性層の磁気モーメントを足し合わせて求めることができる合成磁気モーメントの方向と同じ方向になるように、前記センス電流の流す方向を調節している。

【0191】図1に示すスピバルブ型薄膜素子では、非磁性導電層15の下側に第2の固定磁性層54が形成されている。この場合にあっては、第1の固定磁性層52及び第2の固定磁性層54のうち、磁気モーメントの

方向を合わせる。図1に示すように、前記第2の固定磁性層54の磁気モーメントは第1の固定磁性層52の磁気モーメントに比べて大きく、前記第2の固定磁性層54の磁気モーメントは図示Y方向と反対方向（図示左方向）に向いている。このため前記第1の固定磁性層52の磁気モーメントと第2の固定磁性層54の磁気モーメントとを足し合わせた合成磁気モーメントは、図示Y方向と反対方向（図示左方向）に向いている。

【0192】前述のように、非磁性導電層15は第2の固定磁性層54及び第1の固定磁性層52の上側に形成されている。このため、主に前記非磁性導電層15を中心にして流れるセンス電流112によって形成されるセンス電流磁界は、前記非磁性導電層15よりも下側において図示左方向に向くように、前記センス電流112の流す方向を制御すればよい。このようにすれば、第1の固定磁性層52と第2の固定磁性層54との合成磁気モーメントの方向と、前記センス電流磁界の方向とが一致する。

【0193】図1に示すように前記センス電流112は図示X方向に流される。右ネジの法則により、センス電流を流すことによって形成されるセンス電流磁界は、紙面に対して右回りに形成される。従って、非磁性導電層15よりも下側の層には、図示左方向（図示Y方向と反対方向）のセンス電流磁界が印加されることになり、このセンス電流磁界によって、合成磁気モーメントを補強する方向に作用し、第1の固定磁性層52と第2の固定磁性層54間に作用する交換結合磁界（RKKY相互作用）が増幅され、前記第1の固定磁性層52の磁化と第2の固定磁性層54の磁化の反平行状態をより熱的に安定させることが可能になる。

【0194】特にセンス電流を1mA流すと、約30（Oe）程度のセンス電流磁界が発生し、また素子温度が約15℃程度上昇することが判っている。さらに、記録媒体の回転数は1000rpm程度まで速くなり、この回転数の上昇により、装置内温度は約100℃まで上昇する。このため例えばセンス電流を10mA流した場合、スピンバルブ型薄膜素子の素子温度は、約250℃程度まで上昇し、さらにセンス電流磁界も300（Oe）と大きくなる。

【0195】このような、非常に高い環境温度下で、しかも大きなセンス電流が流れる場合にあっては、第1の固定磁性層52の磁気モーメントと第2の固定磁性層54とを足し合わせて求めることができる合成磁気モーメントの方向と、センス電流磁界の方向とが逆向きであると、第1の固定磁性層52の磁化と第2の固定磁性層54の磁化との反平行状態が壊れ易くなる。また、高い環境温度下でも耐え得るようにするには、センス電流磁界の方向の調節の他に、高いブロッキング温度を有する反強磁性材料を反強磁性層11として使用する必要があり、そのために本発明ではブロッキング温度が約400

℃程度のPtMn合金を使用している。

【0196】なお図1に示す第1の固定磁性層52の磁気モーメントと第2の固定磁性層54の磁気モーメントとで形成される合成磁気モーメントが図示右方向（図示Y方向）に向いている場合には、センス電流を図示X方向と反対方向に流し、センス電流磁界が紙面に対し左回りに形成されるようにすればよい。

【0197】次に図3に示すスピンバルブ型薄膜素子のセンス電流方向について説明する。図3では、非磁性導電層24の上側に第2の固定磁性層25及び第1の固定磁性層27が形成されている。図3に示すように、第1の固定磁性層27の磁気モーメントの方が第2の固定磁性層25の磁気モーメントよりも大きくなっており、また前記第1の固定磁性層27の磁気モーメントの方向は図示Y方向（図示右方向）に向いている。このため前記第1の固定磁性層27の磁気モーメントと第2の固定磁性層25の磁気モーメントとを足し合わせた合成磁気モーメントは図示右方向に向いている。

【0198】図3に示すように、センス電流113は図示X方向に流される。右ネジの法則により、センス電流113を流すことによって形成されるセンス電流磁界は紙面に対して右回りに形成される。非磁性導電層24よりも上側に第2の固定磁性層25及び第1の固定磁性層27が形成されているので、前記第2の固定磁性層25及び第1の固定磁性層27には、図示右方向（図示Y方向と反対方向）のセンス電流磁界が侵入してくることになり、合成磁気モーメントの方向と一致し、従って、第1の固定磁性層27の磁化と第2の固定磁性層25の磁化との反平行状態は壊れ難くなっている。

【0199】なお、前記合成磁気モーメントが図示左方向（図示Y方向と反対方向）に向いている場合には、センス電流113を図示X方向と反対方向に流し、前記センス電流113を流すことによって形成されるセンス電流磁界を紙面に対し左回りに発生させ、第1の固定磁性層27と第2の固定磁性層25の合成磁気モーメントの向きと、前記センス電流磁界との向きを一致させる必要がある。

【0200】図5に示すスピンバルブ型薄膜素子は、フリー磁性層36の上下に第1の固定磁性層（下）32、（上）43と第2の固定磁性層（下）34、（上）41が形成されたデュアルスピンバルブ型薄膜素子である。このデュアルスピンバルブ型薄膜素子では、フリー磁性層36の上下に形成される合成磁気モーメントが互いに反対方向に向くように、前記第1の固定磁性層（下）32、（上）43の磁気モーメントの方向及びその大きさと第2の固定磁性層（下）34、（上）41の磁気モーメントの方向及びその大きさを制御する必要がある。

【0201】図5に示すようにフリー磁性層36よりも下側に形成されている第2の固定磁性層（下）34の磁気モーメントは、第1の固定磁性層（下）32の磁気モ

ーメントよりも大きく、また前記第2の固定磁性層(下)34の磁気モーメントは図示右方向(図示Y方向)を向いている。従って、前記第1の固定磁性層(下)32の磁気モーメントと第2の固定磁性層(下)34の磁気モーメントを足し合わせて求めることができる合成磁気モーメントは図示右方向(図示Y方向)を向いている。またフリー磁性層36よりも上側に形成されている第1の固定磁性層(上)43の磁気モーメントは第2の固定磁性層(上)41の磁気モーメントよりも大きく、また前記第1の固定磁性層(上)43の磁気モーメントは図示左方向(図示Y方向と反対方向)に向いている。このため前記第1の固定磁性層(上)43の磁気モーメントと第2の固定磁性層(上)41の磁気モーメントを足し合わせて求めることができる合成磁気モーメントは図示左方向(図示Y方向と反対方向)を向いている。このように本発明ではフリー磁性層36の上下に形成される合成磁気モーメントが互いに反対方向に向いている。本発明では図5に示すように、センス電流114は図示X方向と反対方向に流される。これにより前記センス電流114を流すことによって形成されるセンス電流磁界は紙面に対し左回りに形成される。

【0202】前記フリー磁性層36よりも下側で形成された合成磁気モーメントは図示右方向(図示Y方向)に、フリー磁性層36よりも上側で形成された合成磁気モーメントは図示左方向(図示Y方向と反対方向)に向いているので、前記2つの合成磁気モーメントの方向は、センス電流磁界の方向と一致しており、フリー磁性層36の下側に形成された第1の固定磁性層(下)32の磁化と第2の固定磁性層(下)34の磁化の反平行状態、及びフリー磁性層36の上側に形成された第1の固定磁性層(上)43の磁化と第2の固定磁性層(上)41の磁化の反平行状態を、熱的にも安定した状態で保つことが可能である。なお、フリー磁性層36よりも下側に形成された合成磁気モーメントが図示左方向に向いており、フリー磁性層36よりも上側に形成された合成磁気モーメントが図示右側に向いている場合には、センス電流114を図示X方向に流し、前記センス電流を流すことによって形成されるセンス電流磁界の方向と、前記合成磁気モーメントの方向とを一致させる必要がある。

【0203】また図7及び図9では、フリー磁性層が非磁性中間層を介して第1のフリー磁性層と第2のフリー磁性層の2層に分断されて形成されたスピバルブ型薄膜素子の実施例であるが、図7に示すスピバルブ型薄膜素子のように、非磁性導電層55よりも下側に第1の固定磁性層52及び第2の固定磁性層54が形成された場合にあっては、図1に示すスピバルブ型薄膜素子の場合と同様のセンス電流方向の制御を行えばよい。また図9に示すスピバルブ型薄膜素子のように、非磁性導電層76よりも上側に第1の固定磁性層79と第2の固

示すスピバルブ型薄膜素子の場合と同様のセンス電流方向の制御を行えばよい。

【0204】以上のように本発明によれば、センス電流を流すことによって形成されるセンス電流磁界の方向と、第1の固定磁性層の磁気モーメントと第2の固定磁性層の磁気モーメントを足し合わせるによって求めることができる合成磁気モーメントの方向とを一致させることにより、前記第1の固定磁性層と第2の固定磁性層間に作用する交換結合磁界(RKKY相互作用)を増幅させ、前記第1の固定磁性層の磁化と第2の固定磁性層の磁化の反平行状態(フェリ状態)を熱的に安定した状態に保つことが可能である。特に本発明では、より熱的安定性を向上させるために、反強磁性層にPtMn合金などのブロッキング温度の高い反強磁性材料を使用しており、これによって、環境温度が、従来に比べて大幅に上昇しても、前記第1の固定磁性層の磁化と第2の固定磁性層の磁化の反平行状態(フェリ状態)を壊れ難くすることができる。

【0205】また高記録密度化に対応するためセンス電流量を大きくして再生出力を大きくしようとする、それに従ってセンス電流磁界も大きくなるが、本発明では、前記センス電流磁界が、第1の固定磁性層と第2の固定磁性層の間に働く交換結合磁界を増幅させる作用をもたらしている、センス電流磁界の増大により、第1の固定磁性層と第2の固定磁性層の磁化状態はより安定したものとなる。なおこのセンス電流方向の制御は、反強磁性層にどのような反強磁性材料を使用した場合であっても適用でき、例えば反強磁性層と固定磁性層(第1の固定磁性層)との界面で交換結合磁界(交換異方性磁界)を発生させるために、熱処理が必要であるか、あるいは必要でないかを問わない。

【0206】さらに、従来のように、固定磁性層が単層で形成されていたシングルスピンバルブ型薄膜素子の場合であっても、前述したセンス電流を流すことによって形成されるセンス電流磁界の方向と、固定磁性層の磁化方向とを一致させることにより、前記固定磁性層の磁化を熱的に安定化させることが可能である。

【0207】

【実施例】本発明では、まず固定磁性層を、非磁性中間層を介して第1の固定磁性層と第2の固定磁性層の2層に分断して形成したスピバルブ型薄膜素子を使用し、前記第1の固定磁性層と第2の固定磁性層の膜厚比と、交換結合磁界(Hex)及びΔMR(抵抗変化率)との関係について測定した。まず、第1の固定磁性層(反強磁性層に接する側の固定磁性層)を20オングストローム又は40オングストロームに固定し、第2の固定磁性層の膜厚を変化させて、前記第2の固定磁性層の膜厚と、交換結合磁界及びΔMRとの関係について調べた。実験に使用した膜構成は以下の通りである。S1基板／

0) / 第1の固定磁性層; Co (20又は40) / 非磁性中間層; Ru (7) / 第2の固定磁性層; Co (X) / 非磁性導電層; Cu (25) / フリー磁性層; Co (10) + NiFe (40) / Ta (30) である。なお各層における括弧内の数値は膜厚を示しており、単位はオングストロームである。

【0208】また本発明では、上記スピバルブ型薄膜素子を成膜した後、200 (Oe) の磁場を印加しながら260℃で4時間の熱処理を施した。その実験結果を図14及び図15に示す。図14に示すように、第1の固定磁性層 (P1) の膜厚 t_{p1} を20オングストロームで固定した場合、第2の固定磁性層 (P2) の膜厚 t_{p2} を、20オングストロームにすると、急激に交換結合磁界 (H_{ex}) は低下し、且つ、前記膜厚 t_{p2} を厚くすることにより、前記交換結合磁界は徐々に低下していくことがわかる。また前記第1の固定磁性層 (P1) の膜厚 t_{p1} を40オングストロームで固定した場合、第2の固定磁性層 (P2) の膜厚 t_{p2} を40オングストロームにすると急激に交換結合磁界は低下し、且つ前記膜厚 t_{p2} を40オングストロームよりも大きくすると、徐々に交換結合磁界は低下していくことがわかる。また、前記膜厚 t_{p2} を40オングストロームよりも小さくしていくと、約26オングストロームまでは交換結合磁界は大きくなるが、前記膜厚 t_{p2} を26オングストロームよりも小さくしていくと、交換結合磁界は小さくなっていくことがわかる。

【0209】ところで第1の固定磁性層 (P1) の膜厚 t_{p1} と第2の固定磁性層 (P2) の膜厚 t_{p2} とがほぼ同じ膜厚で形成されると、急激に交換結合磁界が低下するのは、前記第1の固定磁性層 (P1) の磁化と第2の固定磁性層 (P2) の磁化とが、互いに反平行に磁化されない、いわゆるフェリ状態になりにくいからではないかと推測される。

【0210】上述した膜構成に示すように、第1の固定磁性層 (P1) と第2の固定磁性層 (P2) は共にCo膜で形成されているので、同じ飽和磁化 (M_s) を有している。さらにほぼ同じ膜厚で形成されることにより、第1の固定磁性層 (P1) の磁気モーメント ($M_s \cdot t_{p1}$) と第2の固定磁性層 (P2) の磁気モーメント ($M_s \cdot t_{p2}$) は、ほぼ同じ値で設定されている。本発明では、反強磁性層にPtMn合金を使用しているため、成膜後磁場中アニールを施すことにより、第1の固定磁性層 (P1) との界面で交換結合磁界を発生させ、前記第1の固定磁性層 (P1) をある一定方向に固定しようとしている。

【0211】ところが、第1の固定磁性層 (P1) と第2の固定磁性層 (P2) の磁気モーメントがほぼ同じ値であると、磁場を印加して熱処理を施したときに、前記第1の固定磁性層 (P1) と第2の固定磁性層 (P2) とが、共に磁場方向に向こうとする。本来なら、第1の

固定磁性層 (P1) と第2の固定磁性層 (P2) との間には交換結合磁界 (RKKY相互作用) が発生し、前記第1の固定磁性層 (P1) の磁化と第2の固定磁性層

(P2) の磁化は、反平行状態 (フェリ状態) に磁化されようとするが、第1の固定磁性層 (P1) と第2の固定磁性層 (P2) の磁化が互いに磁場方向に向こうとするため、反平行状態に磁化されにくく、第1の固定磁性層 (P1) と第2の固定磁性層 (P2) の磁化状態は、外部磁界などに対し非常に不安定な状態となっている。

【0212】このため、第1の固定磁性層 (P1) の磁気モーメントと第2の固定磁性層 (P2) の磁気モーメントとの差をある程度つけることが好ましいが、図14に示すように、第1の固定磁性層 (P1) の膜厚 t_{p1} と第2の固定磁性層 (P2) の膜厚 t_{p2} の差が大きくなりすぎ、第1の固定磁性層 (P1) と第2の固定磁性層 (P2) の磁気モーメントの差がありすぎると、交換結合磁界が低下し、反平行状態が崩れやすいという問題がある。

【0213】図16、17は、第2の固定磁性層 (P2) の膜厚 t_{p2} を30オングストロームで固定し、第1の固定磁性層 (P1) の膜厚 t_{p1} を変化させたときの、前記第1の固定磁性層の膜厚 t_{p1} と交換結合磁界 (H_{ex}) 及び ΔMR との関係を表すグラフである。この実験で使用したスピバルブ型薄膜素子の膜構成は以下の通りである。Si基板/アルミナ/Ta (30) / PtMn (150) / 第1の固定磁性層; Co (X) / 非磁性中間層; Ru (7) / 第2の固定磁性層; Co (30) / 非磁性導電層; Cu (25) / フリー磁性層; Co (10) + NiFe (40) / Ta (30) である。なお各層における括弧内の数値は膜厚を示しており、単位はオングストロームである。また本発明では、上記スピバルブ型薄膜素子を成膜した後、200 (Oe) の磁場を印加しながら260℃で4時間の熱処理を施した。

【0214】図16に示すように、第1の固定磁性層 (P1) の膜厚 t_{p1} を30オングストロームにした場合、すなわち第2の固定磁性層 (P2) の膜厚 t_{p2} と同じ膜厚で形成した場合、交換結合磁界 (H_{ex}) は急激に低下することがわかる。これは上述した理由による。また、第1の固定磁性層 (P1) の膜厚 t_{p1} が約32オングストロームのときも交換結合磁界は小さくなっていることがわかる。これは熱拡散層の発生により、第1の固定磁性層の磁気的な膜厚が実際の膜厚 t_{p1} よりも小さくなり、第2の固定磁性層の膜厚 t_{p2} (=30オングストローム) に近づくからである。前記熱拡散層は、反強磁性層と第1の固定磁性層との界面において、金属元素が拡散することによって形成されるが、前記熱拡散層は、この実験で使用した膜構成に示すように、フリー磁性層よりも下側に反強磁性層及び固定磁性層を形成した場合に発生しやすい。

【0215】図18は、デュアルスピバルブ型薄膜素

子を製作し、前記デュアルスピバルブ型薄膜素子の2個の第2の固定磁性層を共に20オングストロームに固定し、2個の第1の固定磁性層のそれぞれの膜厚を変化させた場合における、前記第1の固定磁性層の膜厚と、交換結合磁界 (H_{ex}) との関係を示すグラフである。この実験で使用したスピバルブ型薄膜素子の膜構成は以下の通りである。Si基板/アルミナ/Ta (30)/反強磁性層; PtMn (150)/第1の固定磁性層 (P1 下); Co (X)/非磁性中間層; Ru (6)/第2の固定磁性層 (P2 下); Co (20)/非磁性導電層; Cu (20)/フリー磁性層; Co (10)+NiFe (40)+Co (10)/非磁性導電層; Cu (20)/第2の固定磁性層 (P2 上); Co (20)/非磁性中間層; Ru (8)/第1の固定磁性層 (P1 上); Co (X)/反強磁性層; PtMn (150)/保護層; Ta (30) である。なお各層における括弧内の数値は膜厚を示しており、単位はオングストロームである。また本発明では、上記スピバルブ型薄膜素子を成膜した後、200 (Oe) の磁場を印加しながら260℃で4時間の熱処理を施した。

【0216】なお、実験では、フリー磁性層よりも下側に形成された第1の固定磁性層 (P1 下) を25オングストロームで固定して、フリー磁性層よりも上側に形成された第1の固定磁性層 (P1 上) の膜厚を変化させ、前記第1の固定磁性層 (P1 上) の膜厚と、交換結合磁界 (H_{ex}) との関係について調べた。また、フリー磁性層よりも上側に形成された第1の固定磁性層 (P1 上) を25オングストロームで固定して、フリー磁性層よりも下側に形成された第1の固定磁性層 (P1 下) の膜厚を変化させ、前記第1の固定磁性層 (P1 下) の膜厚と交換結合磁界との関係について調べた。

【0217】図18に示すように、第1の固定磁性層 (P1 下) を25オングストロームで固定し、第1の固定磁性層 (P1 上) の膜厚を20オングストロームに近づけていくと、徐々に交換結合磁界は大きくなっていくが、前記第1の固定磁性層 (P1 上) の膜厚が約18~22オングストロームになると、第2の固定磁性層 (P1 上) の膜厚とほぼ同じ膜厚になることから、上述した理由により、急激に交換結合磁界は低下してしまう。また前記第1の固定磁性層 (P1 上) の膜厚を22オングストロームから30オングストロームまで徐々に大きくしていくと、徐々に交換結合磁界は低下していくことがわかる。

【0218】また図18に示すように、第1の固定磁性層 (P1 上) を25オングストロームで固定し、第1の固定磁性層 (P1 下) の膜厚を20オングストロームに近づけると、徐々に交換結合磁界は大きくなっていくが、前記第1の固定磁性層 (P1 下) の膜厚が約

磁界は低下している。また前記第1の固定磁性層 (P1 下) の膜厚を22オングストロームよりも大きくすると、前記膜厚が約26オングストロームまで交換結合磁界は大きくなるが、前記膜厚を26オングストローム以上にすると、交換結合磁界は低下することがわかる。

【0219】ここで、第1の固定磁性層 (P1) の膜厚を約22オングストローム程度にした場合の、第1の固定磁性層 (P1 上) における交換結合磁界と、第1の固定磁性層 (P1 下) における交換結合磁界とを比較すると、第1の固定磁性層 (P1 上) の膜厚を約22オングストローム程度にした場合の方が、第1の固定磁性層 (P1 下) を約22オングストローム程度にした場合に比べ交換結合磁界を大きくできることがわかる。これは前述したように、第1の固定磁性層 (P1 下) と、反強磁性層との界面には、熱拡散層が形成されやすいので、前記第1の固定磁性層の磁気的な膜厚は、実質的に小さくなり、第2の固定磁性層 (P2 下) の膜厚とほぼ同程度になってしまうからである。

【0220】以上、図14、図16、及び図18に示す実験結果により本発明では、500 (Oe) 以上の交換結合磁界を得ることができる (第1の固定磁性層 (P1) の膜厚) / (第2の固定磁性層 (P2) の膜厚) を調べた。まず図14に示すように、第1の固定磁性層 (P1) を20オングストロームに固定した場合、500 (Oe) 以上の交換結合磁界を得るには、(第1の固定磁性層 (P1) の膜厚) / (第2の固定磁性層 (P2) の膜厚) を、0.33以上0.91以下、あるいは1.1以上にしなければいけないことがわかる。なおこのときの第2の固定磁性層 (P2) の膜厚は、10~60オングストローム (18~22オングストロームを除く) の範囲内である。

【0221】次に図14に示すように、第1の固定磁性層 (P1) を40オングストロームに固定した場合、500 (Oe) 以上の交換結合磁界を得るには、(第1の固定磁性層 (P1) の膜厚) / (第2の固定磁性層 (P2) の膜厚) を、0.57以上0.95以下、1.05以上4以下にしなければいけないことがわかる。なおこのときの第2の固定磁性層 (P2) の膜厚は、10~60オングストローム (38~42オングストロームを除く) の範囲内である。

【0222】次に、図16に示すように、第2の固定磁性層 (P2) を30オングストロームに固定した場合、500 (Oe) 以上の交換結合磁界を得るには、(第1の固定磁性層 (P1) の膜厚) / (第2の固定磁性層 (P2) の膜厚) を、0.33以上0.93以下、あるいは1.06以上2.33以下にしなければいけないことがわかる。なおこのときの第1の固定磁性層 (P1) の膜厚は、10~70オングストローム (28~32オングストロームを除く) の範囲内である。

ンバルブ型薄膜素子の場合にあっては、(第1の固定磁性層(P1)の膜厚)/(第2の固定磁性層(P2)の膜厚)の範囲のうち、0.9以上1.1以下の範囲を外せば、500(Oe)以上の交換結合磁界を得ることができることがわかる。ここで500(Oe)以上の交換結合を得ることができる最も広い膜厚比の範囲を取ると、(第1の固定磁性層(P1)の膜厚)/(第2の固定磁性層(P2)の膜厚)は、0.33~0.95、あるいは1.05~4の範囲内となる。ただし、交換結合磁界は膜厚比のみならず、第1の固定磁性層(P1)と第2の固定磁性層(P2)の膜厚も重要な要素の一つであるので、さらに、上述した膜厚比の範囲内で、しかも第1の固定磁性層(P1)の膜厚及び第2の固定磁性層(P2)の膜厚を、10~70オングストロームの範囲内とし、且つ第1の固定磁性層(P1)の膜厚から第2の固定磁性層(P2)の膜厚を引いた絶対値を2オングストローム以上にすれば、500(Oe)以上の交換結合磁界を得ることが可能になる。

【0224】次に本発明では、1000(Oe)以上の交換結合磁界を得ることができる(第1の固定磁性層(P1)の膜厚)/(第2の固定磁性層(P2)の膜厚)を調べた。まず図14に示すように、第1の固定磁性層(P1)を20オングストロームにした場合、(第1の固定磁性層(P1)の膜厚)/(第2の固定磁性層(P2)の膜厚)を0.53~0.91、あるいは1.1以上にすれば1000(Oe)以上の交換結合磁界を得ることが可能である。なおこのときの第2の固定磁性層(P2)の膜厚は、10~38オングストローム(18~22オングストロームを除く)の範囲内である。

【0225】また図14に示すように、第1の固定磁性層(P1)を40オングストロームにした場合、(第1の固定磁性層(P1)の膜厚)/(第2の固定磁性層(P2)の膜厚)を0.88~0.95、あるいは1.05~1.8の範囲内にすれば、1000(Oe)以上の交換結合磁界を得ることが可能である。なおこのときの第2の固定磁性層(P2)の膜厚は、22~45オングストローム(38~42オングストロームを除く)の範囲内である。

【0226】さらに図16に示すように、第2の固定磁性層(P2)を30オングストロームに固定した場合、(第1の固定磁性層(P1)の膜厚)/(第2の固定磁性層(P2)の膜厚)を0.56~0.93、あるいは1.06~1.6の範囲内であれば1000(Oe)以上の交換結合磁界を得ることが可能である。なおこのときの第1の固定磁性層(P1)の膜厚は、10~50オングストローム(28~32オングストロームを除く)の範囲内である。

【0227】また図18に示すように、デュアルスピンバルブ型薄膜素子の場合にあっては、(第1の固定磁性層(P1)の膜厚)/(第2の固定磁性層(P2)の膜

厚)を0.5~0.9、あるいは1.1~1.5程度の範囲内にすれば、1000(Oe)以上の交換結合磁界を得ることが可能となっている。従って、1000(Oe)以上の交換結合磁界を得るには、第1の固定磁性層(P1)の膜厚)/(第2の固定磁性層(P2)の膜厚)を、0.53~0.95、あるいは1.05~1.8の範囲内にし、さらに、第1の固定磁性層(P1)と第2の固定磁性層(P2)の膜厚を10~50オングストロームの範囲内で、しかも第1の固定磁性層(P1)の膜厚から第2の固定磁性層(P2)の膜厚を引いた絶対値が2オングストローム以上であることが好ましい。なお図15及び図17に示すように、上述した膜厚比及び膜厚の範囲内であれば、 ΔMR もそれほど低下せず、約6%以上の ΔMR を得ることが可能である。この ΔMR の値は従来のスピンバルブ型薄膜素子(シングルスピンバルブ型薄膜素子に限る)の ΔMR と同程度か若干低い値である。

【0228】また図15に示すように、第1の固定磁性層(P1)を40オングストロームにした場合、第2の固定磁性層(P1)を20オングストロームにした場合に比べて、やや ΔMR は小さくなることがわかる。前記第1の固定磁性層(P1)は、実際には ΔMR に関与しない層であり、前記 ΔMR は、第2の固定磁性層(P2)の固定磁化と、フリー磁性層の変動磁化との関係で決定される。ところがセンス電流は、 ΔMR に関与しない第1の固定磁性層(P1)にも流れるため、いわゆるシャントロス(分路ロス)が発生し、このシャントロスは、第1の固定磁性層(P1)の膜厚が厚くなるほど大きくなる。以上のような理由から、第1の固定磁性層(P1)の膜厚が厚くなるほど、 ΔMR は低下しやすい傾向にある。

【0229】次に、第1の固定磁性層(P1)と第2の固定磁性層(P2)の間に形成される非磁性中間層の適正な膜厚について測定した。なお、実験には、フリー磁性層よりも下側に反強磁性層が形成されたボトム型と、フリー磁性層よりも上側に反強磁性層が形成されたトップ型の2種類のスピンバルブ型薄膜素子を製作し、前記非磁性中間層の膜厚と交換結合磁界との関係について調べた。実験に使用したボトム型のスピンバルブ型薄膜素子の膜構成は、下から、Si基板/アルミナ/Ta(30)/反強磁性層;PtMn(200)/第1の固定磁性層;Co(20)/非磁性中間層;Ru(X)/第2の固定磁性層;Co(25)/非磁性導電層;Co(10)/フリー磁性層;Co(10)+NiFe(40)/Ta(30)であり、トップ型のスピンバルブ型薄膜素子の膜構成は、下から、Si基板/アルミナ/Ta(30)/フリー磁性層;NiFe(40)+Co(10)/非磁性導電層;Cu(25)/第2の固定磁性層;Co(25)/非磁性中間層;Ru(X)/第1の固定磁性層;Co(20)/反強磁性層;PtMn(2

00) / Ta (30) である。なお括弧内の数値は膜厚を表しており、単位はオングストロームである。

【0230】また各スピバルブ型薄膜素子を成膜後、200 (Oe) の磁場を印加しながら、260℃で4時間の熱処理を施している。その実験結果を図19に示す。図19に示すように、トップ型とボトム型とでは、Ru膜 (非磁性中間層) の膜厚に対する交換結合磁界の挙動が大きく異なっていることがわかる。本発明では500 (Oe) 以上の交換結合磁界を得ることができる範囲を好ましいとしているので、トップ型のスピバルブ型薄膜素子において、500 (Oe) 以上の交換結合磁界を得ることが可能なRu膜の膜厚は、2.5~6.4オングストローム、あるいは6.6~10.7オングストロームの範囲内であることがわかる。さらに好ましくは1000 (Oe) 以上の交換結合磁界が得られる範囲内であり、前記Ru膜の膜厚を、2.8~6.2オングストローム、あるいは6.8~10.3オングストロームの範囲内にすれば、1000 (Oe) 以上の交換結合磁界が得られることがわかる。

【0231】次にボトム型のスピバルブ型薄膜素子において、500 (Oe) 以上の交換結合磁界を得ることが可能なRu膜の膜厚は、3.6~9.6オングストロームの範囲内であることがわかる。さらに、4.0~9.4オングストロームの範囲内とすれば、1000 (Oe) 以上の交換結合磁界を得ることが可能になる。ところで、トップ型のスピバルブ型薄膜素子と、ボトム型のスピバルブ型薄膜素子とで、非磁性中間層の適性な膜厚の範囲が異なるのは、第1の固定磁性層と第2の固定磁性層との間に作用する交換結合磁界 (RKKY相互作用) が、下地膜の格子定数との関係や、あるいは、磁性層の伝導電子のエネルギーバンドの値の変化に非常に敏感に反応するためであると推測される。

【0232】次に本発明では、4種類のスピバルブ型薄膜素子 (シングルスピンバルブ型薄膜素子) を製作し、各スピバルブ型薄膜素子の反強磁性層 (PtMn合金) の膜厚と、交換結合磁界との関係について測定した。実施例1、2は、固定磁性層が非磁性中間層を介して第1の固定磁性層と第2の固定磁性層の2層に分断されたスピバルブ型薄膜素子、比較例1、2は、固定磁性層が単層で形成された従来型のスピバルブ型薄膜素子である。

【0233】まず実施例1のスピバルブ型薄膜素子は、フリー磁性層よりも反強磁性層が上側に形成されたトップ型であり、膜構成は下から、Si基板/アルミナ/Ta (30) /フリー磁性層; NiFe (40) + Co (10) /非磁性導電層; Cu (25) /第2の固定磁性層; Co (25) /非磁性中間層; Ru (4) /第1の固定磁性層; Co (20) /反強磁性層; PtMn (X) /Ta (30) であり、また実施例2のスピバ

層が形成されたボトム型であり、膜構成は下から、Si基板/アルミナ/Ta (30) /反強磁性層; PtMn (X) /第1の固定磁性層; Co (20) /非磁性中間層; Ru (8) /第2の固定磁性層; Co (25) /非磁性導電層; Cu (25) /フリー磁性層; Co (10) + NiFe (40) /Ta (30) である。

【0234】また比較例1のスピバルブ型薄膜素子は、フリー磁性層よりも反強磁性層が上側に形成されたトップ型であり、膜構成は下から、Si基板/アルミナ/Ta (30) /フリー磁性層; NiFe (40) + Co (10) /非磁性導電層; Cu (25) /固定磁性層; Co (40) /反強磁性層; PtMn (X) /Ta (30) であり、また比較例2のスピバルブ型薄膜素子は、フリー磁性層よりも反強磁性層が下側に形成されたボトム型であり、膜構成は下から、Si基板/アルミナ/Ta (30) /反強磁性層; PtMn (X) /固定磁性層; Co (40) /非磁性導電層; Cu (25) /フリー磁性層; Co (10) + NiFe (40) /Ta (30) である。なお各スピバルブ型薄膜素子の膜構成において括弧内の数値は膜厚を示しており、単位はオングストロームである。

【0235】さらに本発明ではスピバルブ型薄膜素子の成膜後、実施例1、2にあっては、200 (Oe) の磁場、比較例1、2にあっては、2k (Oe) の磁場を印加しながら、260℃で4時間の熱処理を施している。その実験結果を図20に示す。

【0236】図20に示すように、4種類のスピバルブ型薄膜素子は全て、PtMn合金の膜厚を厚くすることにより、交換結合磁界を大きくできることがわかる。ここで本発明では、500 (Oe) 以上の交換結合磁界を得られる範囲を好ましい範囲としているから、比較例1、2では、共にPtMn合金の膜厚を少なくとも200オングストローム以上で形成しなければ、500 (Oe) 以上の交換結合磁界を得ることができないことがわかる。一方、実施例1、2においては、PtMn合金の膜厚を90オングストローム以上にすれば500 (Oe) 以上の交換結合磁界を得ることが可能であることがわかる。そこで本発明では、PtMn合金の好ましい膜厚の範囲を90~200オングストロームの範囲内に設定している。

【0237】さらに図20に示すように、実施例1、2のPtMn合金の膜厚を100オングストローム以上にすれば、少なくとも1000 (Oe) 以上の交換結合磁界を得ることが可能であるとわかる。そこで本発明では、よりも好ましいPtMn合金の膜厚を100~200オングストロームの範囲内に設定している。

【0238】次に本発明では、2種類のデュアルスピバルブ型薄膜素子を製作し、各スピバルブ型薄膜素子における反強磁性層 (PtMn合金) の膜厚と、交換

層が非磁性中間層を介して第1の固定磁性層と第2の固定磁性層の2層に分断して形成された本発明のデュアルスピバルブ型薄膜素子、比較例は、固定磁性層が単層で形成された従来のデュアルスピバルブ型薄膜素子である。

【0239】まず実施例のスピバルブ型薄膜素子における膜構成は、下から、Si基板/アルミナ/Ta(30)/反強磁性層; PtMn(x)/第1の固定磁性層; Co(20)/非磁性中間層; Ru(6)/第2の固定磁性層; Co(25)/非磁性導電層; Cu(20)/フリー磁性層; Co(10)+NiFe(40)+Co(10)/非磁性導電層; Cu(20)/第2の固定磁性層; Co(20)/非磁性中間層; Ru(8)/第1の固定磁性層; Co(25)/反強磁性層; PtMn(X)/Ta(30)であり、比較例のスピバルブ型薄膜素子における膜構成は、下から、Si基板/アルミナ/Ta(30)/反強磁性層; PtMn(X)/固定磁性層; Co(30)/非磁性導電層; Cu(20)/フリー磁性層; Co(10)+NiFe(40)+Co(10)/非磁性導電層; Cu(20)/固定磁性層; Co(30)/反強磁性層; PtMn(X)/Ta(30)である。なお各スピバルブ型薄膜素子の膜構成における括弧内の数値は膜厚を示しており、単位はオングストロームである。

【0240】また各スピバルブ型薄膜素子を成膜後、実施例では、200(Oe)の磁場を、比較例では2k(Oe)の磁場を印加しながら260℃で4時間の熱処理を施している。その実験結果を図21に示す。図21に示すように、比較例ではPtMn合金の膜厚を約200オングストローム以上で形成しないと、500(Oe)以上の交換結合磁界を得ることができないとわかる。これに対し、実施例では、PtMn合金の膜厚を、100オングストローム以上で形成すれば500(Oe)以上の交換結合磁界を得ることができるとわかる。そこで本発明では、好ましい反強磁性層の膜厚を100~200オングストロームの範囲内に設定している。さらに実施例では、PtMn合金の膜厚を110オングストローム以上で形成すれば、1000(Oe)以上の交換結合磁界を得ることが可能であるため、本発明では、より好ましい反強磁性層の膜厚を110~200オングストロームの範囲内に設定している。

【0241】また図22は、PtMn合金の膜厚と、 ΔMR との関係を示すグラフである。図22に示すように、比較例では、PtMn合金の膜厚を200オングストローム以上で形成すると、約10%以上の ΔMR を得ることが可能となっているが、実施例においては、PtMn合金の膜厚を100オングストローム程度に薄くしても、従来とほぼ同じ程度の ΔMR を確保できることがわかる。

【0242】ところで、スピバルブ型薄膜素子におけ

る積層膜のうち、最も膜厚の厚いのは反強磁性層である。このため本発明によれば、図20及び図21に示すように、前記反強磁性層の膜厚を薄くしても、具体的には従来のスピバルブ型薄膜素子の反強磁性層の膜厚の半分以上で形成しても、大きい交換結合磁界を得ることが可能となっている。このため本発明では、スピバルブ型薄膜素子全体の膜厚を薄くすることができ、図13に示すように、前記スピバルブ型薄膜素子122の上下に形成されるギャップ層121、125の膜厚を絶縁性を確保できる程度に十分に厚くしても、ギャップ長G1を小さくでき、狭ギャップ化を実現できる。

【0243】次に、フリー磁性層を非磁性中間層を介して第1のフリー磁性層と第2のフリー磁性層の2層に分断して形成した本発明におけるスピバルブ型薄膜素子を製作し、前記第1のフリー磁性層と第2のフリー磁性層との膜厚比と、交換結合磁界との関係について測定した。まず、第1のフリー磁性層(非磁性導電層に接し、 ΔMR に直接関与する側のフリー磁性層)の膜厚を50オングストロームで固定し、第2のフリー磁性層(ΔMR に直接関与しない側のフリー磁性層)の膜厚を変化させた。膜構成は下から、Si基板/アルミナ/Ta(30)/第2のフリー磁性層(F2); NiFe(X)/非磁性中間層; Ru(8)/第1のフリー磁性層(F1); NiFe(40)+Co(10)/非磁性導電層; Cu(20)/Ru(8)/反強磁性層; PtMn(150)/Ta(30)であり、各層における括弧内の数値は膜厚を示しており、単位はオングストロームである。なおスピバルブ型薄膜素子を成膜後、200(Oe)の磁場を印加しながら、260℃で4時間の熱処理を施している。

【0244】図23に示すように、第2のフリー磁性層(F2)の膜厚が40オングストローム程度まで大きくなると、交換結合磁界は大きくなることがわかる。また、前記第2のフリー磁性層(F2)の膜厚が60オングストローム以上になると、徐々の交換結合磁界は低下していくことがわかる。

【0245】前記第2のフリー磁性層(F2)の膜厚が40~60オングストロームの範囲内であると、交換結合磁界は急激に小さくなり測定不可能であった。その原因は、第1のフリー磁性層(F1)の膜厚(=50オングストローム)と、第2のフリー磁性層の膜厚とがほぼ同じ値になるため、前記第1のフリー磁性層(F1)及び第2のフリー磁性層(F2)の磁気モーメントがほぼ同じになり、印加磁場に対し、前記第1のフリー磁性層(F1)の磁化及び第2のフリー磁性層(F2)の磁化が両方とも印加磁場方向へ向こうとする。磁気モーメントの値が異なれば、第1のフリー磁性層(F1)と第2のフリー磁性層(F2)の間には交換結合磁界(RKKY相互作用)が発生し、前記第1のフリー磁性層(F1)の磁化と第2のフリー磁性層(F2)の磁化とが反

平行の状態になろうとするが、前述のように、前記第1のフリー磁性層(F1)の磁化及び第2のフリー磁性層(F2)の磁化が両方とも同一方向に向こうとするため、前記第1のフリー磁性層(F1)と第2のフリー磁性層(F2)との磁化状態は不安定化し、後述するように、前記第2のフリー磁性層(F2)の変動磁化と、固定磁性層(第1の固定磁性層)の固定磁化との相対角度が制御できなくなり、 ΔMR は急激に低下する。

【0246】本発明では500(Oe)以上の交換結合磁界を得ることができる範囲を好ましい範囲に設定しているので、図23に示すように、(第1のフリー磁性層(F1)の膜厚)/(第2のフリー磁性層(F2)の膜厚)を、0.56~0.83、あるいは1.25~5の範囲内で形成すれば、500(Oe)以上の交換結合磁界を得ることができるとわかる。さらに前記(第1のフリー磁性層(F1)の膜厚/第2のフリー磁性層(F2)の膜厚)を、0.61~0.83、あるいは1.25~2.1の範囲内で形成すれば1000(Oe)以上の交換結合磁界を得ることができてより好ましい。

【0247】次に本発明では、フリー磁性層を非磁性中間層を介して第1のフリー磁性層と第2のフリー磁性層の2層に分断して形成した本発明におけるスピバルブ型薄膜素子を製作し、前記第1のフリー磁性層と第2のフリー磁性層との膜厚比と、 ΔMR との関係について測定した。まず、第2のフリー磁性層(ΔMR に直接関与しない側のフリー磁性層)を20オングストロームで固定し、第1のフリー磁性層(非磁性導電層に接し、 ΔMR に直接関与する側のフリー磁性層)の膜厚を変化させた。膜構成は、下から、Si基板/アルミナ/Ta(30)/第2のフリー磁性層;NiFe(20)/非磁性中間層;Ru(8)/第1のフリー磁性層;NiFe(X)+Co(10)/非磁性導電層;Cu(20)/第1の固定磁性層;Co(25)/非磁性中間層;Ru(8)/第2の固定磁性層;Co(20)/反強磁性層;PtMn(15)/Ta(30)であり、各層における括弧内の数値は膜厚を示しており、単位はオングストロームである。

【0248】なお本発明では、スピバルブ型薄膜素子を成膜後、200(Oe)の磁場を印加して260℃で4時間の熱処理を施している。また上記膜構成を見てわかるように、本発明では第1のフリー磁性層は2層で形成されており、NiFe膜の膜厚を変化させている。その実験結果を図24に示すが、図24に示す横軸は、NiFe合金の膜厚と、Co膜の膜厚(=10オングストローム)を足した第1のフリー磁性層総合の膜厚である。

【0249】図24に示すように、第1のフリー磁性層(F1)の膜厚が、20オングストロームに近づくと、第2のフリー磁性層(F2)の膜厚とほぼ同程度になる

24に示すように、第1のフリー磁性層(F1)の膜厚が約30オングストローム以上になると、 ΔMR は上昇し、従来のスピバルブ型薄膜素子(シングルスピンバルブ型薄膜素子)と同程度の ΔMR を得ることが可能である。

【0250】ところで、図23から導き出した500(Oe)以上の交換結合磁界を得ることが可能な(第1のフリー磁性層(F1)の膜厚)/(第2のフリー磁性層(F2)の膜厚)の範囲を、図24上に表してみると、第1のフリー磁性層(F1)の膜厚/(第2のフリー磁性層(F2)の膜厚)を1.25~5の範囲内にすれば、高い ΔMR を得ることが可能となっている。

【0251】次に本発明では、第1のフリー磁性層と第2のフリー磁性層との間に介在する非磁性中間層の膜厚を変化させて、前記非磁性中間層の膜厚と交換結合磁界との関係について測定した。実験に使用したスピバルブ型薄膜素子(デュアルスピバルブ型薄膜素子)の膜構成は下から、Si基板/アルミナ/Ta(30)/反強磁性層;PtMn(150)/Ru(6)/非磁性導電層;Cu(20)/第1のフリー磁性層;Co(10)+NiFe(50)/非磁性中間層;Ru(X)/第1のフリー磁性層;NiFe(30)+Co(10)/非磁性導電層;Cu(20)/Ru(8)/反強磁性層;PtMn(150)/Ta(30)であり、各層における括弧内の数値は膜厚を表しており、単位はオングストロームである。

【0252】なお本発明ではスピバルブ型薄膜素子を成膜後、200(Oe)の磁場を印加しながら、260℃で4時間の熱処理を施している。その実験結果を図20に示す。図20に示すように、500(Oe)以上の交換結合磁界を得るには、Ru膜の膜厚を5.5~10.0オングストロームの範囲内で形成すればよいことがわかる。また1000(Oe)以上の交換結合磁界を得るには、Ru膜の膜厚を5.9~9.4オングストロームの範囲内で形成すればよいことがわかる。

【0253】

【発明の効果】以上詳述した本発明によれば、固定磁性層を非磁性中間層を介して第1の固定磁性層と第2の固定磁性層の2層に分断して形成し、前記第1の固定磁性層と第2の固定磁性層との間に発生する交換結合磁界(RKKY相互作用)によって、前記第1の固定磁性層の磁化と第2の固定磁性層の磁化を反平行状態にすれば、前記固定磁性層の磁化状態を非常に安定した状態に保つことが可能である。特に本発明では、センス電流を流すことによって形成されるセンス電流磁界の方向と、第1の固定磁性層の磁気モーメントと第2の固定磁性層の磁気モーメントとを足し合わせて求めることができる合成磁気モーメントの方向とを一致させることにより、前記第1の固定磁性層と第2の固定磁性層との磁化状態

【0254】なおこのセンス電流方向の制御は、反強磁性層にどのような反強磁性材料を使用した場合であっても適用でき、例えば反強磁性層と固定磁性層（第1の固定磁性層）との界面で交換結合磁界（交換異方性磁界）を発生させるために、熱処理が必要であるか、あるいは必要でないかを問わない。さらに、従来のように、固定磁性層が単層で形成されていたシングルスピンバルブ型薄膜素子の場合であっても、前述したセンス電流を流すことによって形成されるセンス電流磁界の方向と、固定磁性層の磁化方向とを一致させることにより、前記固定磁性層の磁化を熱的に安定化させることが可能である。また本発明では、前記第1の固定磁性層と第2の固定磁性層との膜厚比、及び膜厚を適性な範囲内で調節することにより、500（Oe）以上の交換結合磁界、さらに好ましくは1000（Oe）以上の交換結合磁界を得ることが可能である。

【0255】また本発明では、前記第1の固定磁性層と第2の固定磁性層との間に介在する非磁性中間層を、Ru、Rh、Ir、Cr、Re、Cuなどで形成し、さらに、フリー磁性層よりも上側に前記非磁性中間層が形成される場合と、下側に非磁性中間層が形成される場合とで、前記非磁性中間層の膜厚を適性な範囲内で調節することにより、500（Oe）以上の交換結合磁界を得ることができ、より好ましくは1000（Oe）以上の交換結合磁界を得ることができる。さらに本発明では、反強磁性層として、ブロッキング温度が高く、また固定磁性層（第1の固定磁性層）との界面で発生する交換結合磁界（交換異方性磁界）が大きく、しかも耐食性に優れた反強磁性材料として、PtMn合金を使用している。あるいはX-Mn（ただしXは、Pd、Ir、Rh、Ruのいずれか1種または2種以上の元素である）、Pt-Mn-X'（ただしX'は、Pd、Ir、Rh、Ru、Au、Agのいずれか1種または2種以上の元素である）で形成してもよい。

【0256】本発明のように、固定磁性層を第1の固定磁性層と第2の固定磁性層の2層に分断した場合では、前記反強磁性層の膜厚を、従来の反強磁性層の半分程度の膜厚で形成しても、500（Oe）以上の交換結合磁界を得ることができ、より好ましくは1000（Oe）以上の交換結合磁界を得ることができる。さらに本発明では、フリー磁性層が固定磁性層と同様に、非磁性中間層を介して第1のフリー磁性層と第2のフリー磁性層に分断されて形成されていることが好ましい。第1のフリー磁性層と第2のフリー磁性層の間には交換結合磁界（RKKY相互作用）が発生し、前記第1のフリー磁性層の磁化と第2のフリー磁性層の磁化とが反平行状態に磁化され、外部磁界に対して感度よく反転できるようになる。

【0257】また本発明では、前記第1のフリー磁性層と第2のフリー磁性層との膜厚比を適正な範囲内で形成

し、さらに前記第1のフリー磁性層と第2のフリー磁性層との間に介在する非磁性中間層をRu膜などで形成し、前記非磁性中間層の膜厚を適性な範囲内で形成すれば、500（Oe）以上の交換結合磁界を得ることが可能であり、より好ましくは1000（Oe）以上の交換結合磁界を得ることができる。

【0258】さらに本発明によれば、第1の固定磁性層との界面において熱処理を必要とする反強磁性層を使用した場合に、第1の固定磁性層の磁気モーメントと第2の固定磁性層の磁気モーメントの大きさを適正に調節し、さらに前記熱処理中に印加する磁場の方向及びその大きさを適正に調節することによって、第1の固定磁性層の磁化を向きたい方向に向けることができ、しかも前記第1の固定磁性層の磁化と第2の固定磁性層の磁化とを反平行状態に適正に制御することが可能である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明における第1実施形態のスピバルブ型薄膜素子の横断面図、

【図2】図1に示すスピバルブ型薄膜素子を記録媒体との対向面側から見た断面図、

【図3】本発明における第2実施形態のスピバルブ型薄膜素子の横断面図、

【図4】図3に示すスピバルブ型薄膜素子を記録媒体との対向面側から見た断面図、

【図5】本発明における第3実施形態のスピバルブ型薄膜素子の横断面図、

【図6】図5に示すスピバルブ型薄膜素子を記録媒体との対向面側から見た断面図、

【図7】本発明における第4実施形態のスピバルブ型薄膜素子の横断面図、

【図8】図7に示すスピバルブ型薄膜素子を記録媒体との対向面側から見た断面図、

【図9】本発明における第5実施形態のスピバルブ型薄膜素子の横断面図、

【図10】図9に示すスピバルブ型薄膜素子を記録媒体との対向面側から見た断面図、

【図11】本発明における第6実施形態のスピバルブ型薄膜素子の横断面図、

【図12】図11に示すスピバルブ型薄膜素子を記録媒体との対向面側から見た断面図、

【図13】読み出しヘッド（再生ヘッド）を記録媒体との対向面からみた断面図、

【図14】第1の固定磁性層（P1）の膜厚を20、あるいは40オングストロームで固定した場合の、第2の固定磁性層（P2）の膜厚と、交換結合磁界との関係、及び（第1の固定磁性層（P1）の膜厚）／（第2の固定磁性層（P2）の膜厚）と、交換結合磁界（Hex）との関係を示すグラフ、

【図15】第1の固定磁性層（P1）の膜厚を20、あるいは40オングストロームで固定した場合の、第2の

固定磁性層 (P 2) の膜厚と、 ΔMR (%) との関係を示すグラフ、

【図 16】第2の固定磁性層 (P 2) を 30 オングストロームで固定した場合、第1の固定磁性層 (P 1) の膜厚と、交換結合磁界 (H_{ex}) との関係、及び (第1の固定磁性層 (P 1) の膜厚) / (第2の固定磁性層 (P 2) の膜厚) と交換結合磁界 (H_{ex}) との関係を示すグラフ、

【図 17】第2の固定磁性層 (P 2) を 30 オングストロームで固定した場合、第1の固定磁性層 (P 1) の膜厚と、 ΔMR (%) との関係を示すグラフ、

【図 18】デュアルスピンバルブ型薄膜素子において、第1の固定磁性層 (上) の膜厚及び第1の固定磁性層 (下) の膜厚と交換結合磁界 (H_{ex}) との関係、さらに (第1の固定磁性層 (P 1 上) の膜厚) / (第2の固定磁性層 (P 2 上) の膜厚) 及び (第1の固定磁性層 (P 1 下) の膜厚) / (第2の固定磁性層 (P 2 下) の膜厚) と交換結合磁界 (H_{ex}) との関係を示すグラフ、

【図 19】第1の固定磁性層と第2の固定磁性層の間に介在する Ru (非磁性中間層) の膜厚と交換結合磁界 (H_{ex}) との関係を示すグラフ、

【図 20】4 種類のスピンバルブ型薄膜素子を使用し、各スピンバルブ型薄膜素子の PtMn (反強磁性層) の膜厚と、交換結合磁界 (H_{ex}) との関係を示すグラフ、

【図 21】2 種類のデュアルスピンバルブ型薄膜素子を使用し、各デュアルスピンバルブ型薄膜素子の PtMn (反強磁性層) の膜厚と、交換結合磁界 (H_{ex}) との関係を示すグラフ、

【図 22】2 種類のデュアルスピンバルブ型薄膜素子を使用し、各デュアルスピンバルブ型薄膜素子の PtMn (反強磁性層) の膜厚と、 ΔMR (%) との関係を示すグラフ、

【図 23】第1のフリー磁性層 (F 1) の膜厚を 50 オングストロームで固定した場合、第2のフリー磁性層 (F 2) の膜厚と交換結合磁界 (H_{ex}) との関係、及び (第1のフリー磁性層 (F 1) の膜厚) / (第2のフリー磁性層 (F 2) の膜厚) と交換結合磁界 (H_{ex}) との関係を示すグラフ、

【図 24】第2のフリー磁性層 (F 2) の膜厚を 20 オングストロームで固定した場合、第1のフリー磁性層

(F 1) の膜厚と ΔMR (%) との関係、及び (第1のフリー磁性層 (F 1) の膜厚) / (第2のフリー磁性層 (F 2) の膜厚) と ΔMR (%) との関係を示すグラフ、

【図 25】第1のフリー磁性層 (F 1) と第2のフリー磁性層 (F 2) の間に介在する Ru (非磁性中間層) の膜厚と、交換結合磁界 (H_{ex}) との関係を示すグラフ、

【図 26】本発明におけるスピンバルブ型薄膜素子、及び従来におけるスピンバルブ型薄膜素子におけるヒステリシスループ、

【図 27】反強磁性層を PtMn で形成した場合、NiO で形成した場合、及び FeMn で形成した場合の各スピンバルブ型薄膜素子における環境温度 ($^{\circ}C$) と交換結合磁界 (H_{ex}) との関係を示すグラフ、

【図 28】従来におけるスピンバルブ型薄膜素子の横断面図、

【図 29】図 28 に示すスピンバルブ型薄膜素子を記録媒体との対向面側から見た断面図、

【符号の説明】

10、30、50、70、91 下地層
11、28、31、44、51、80、92、108 反強磁性層
12、27、52、79 第1の固定磁性層
13、26、33、42、53、59、72、78、94、100、106 非磁性中間層
14、25、54、77 第2の固定磁性層
15、24、35、40、55、76、96、104 非磁性導電層
16、21、36 フリー磁性層
19、29、45、61、81、109 保護層
32、93 第1の固定磁性層 (下)
34、95 第2の固定磁性層 (下)
41、105 第2の固定磁性層 (上)
43、107 第1の固定磁性層 (上)
56、73、101 第1のフリー磁性層
60、71、97 第2のフリー磁性層
62、82、130 ハードバイアス層
63、83、131 導電層
112、113、114 センス電流

【図 13】

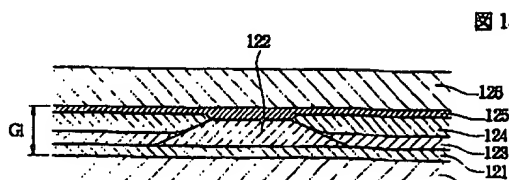
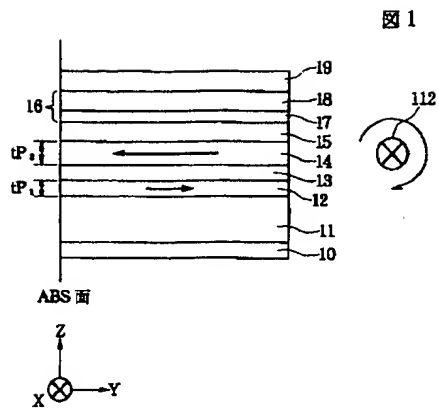
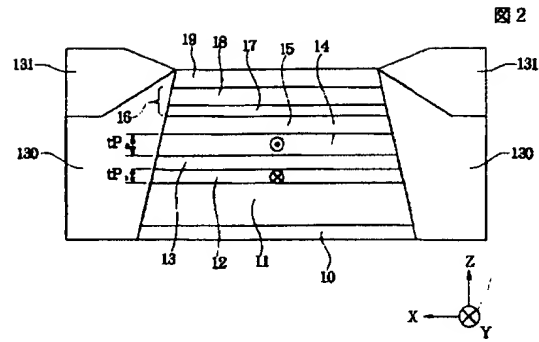


図 13

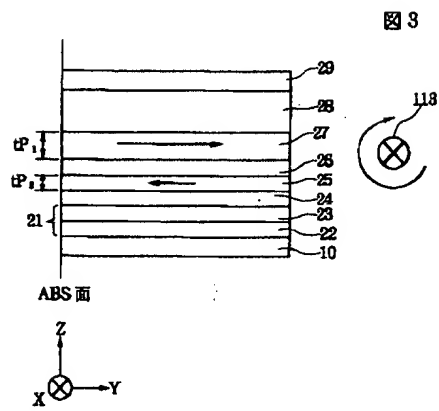
【图 1】



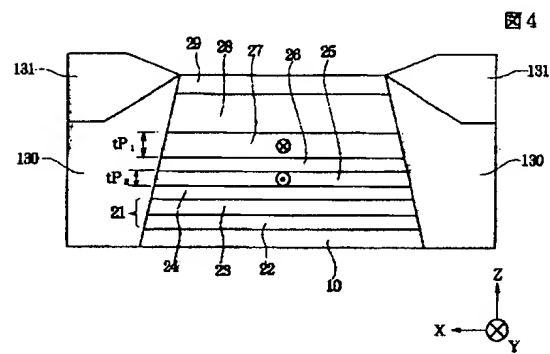
【図2】



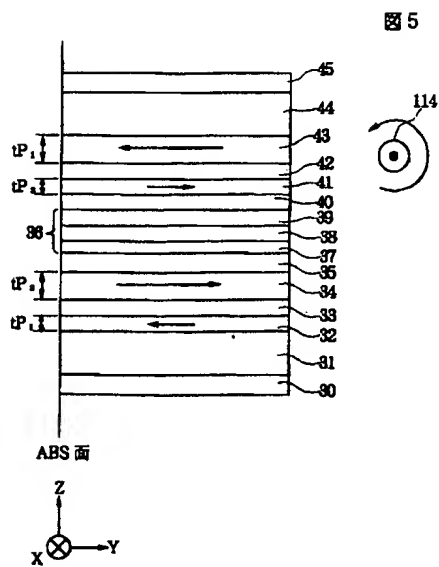
【図 3】



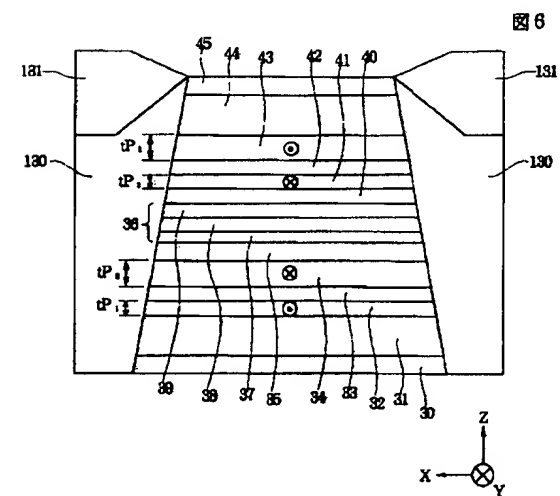
【図 4】

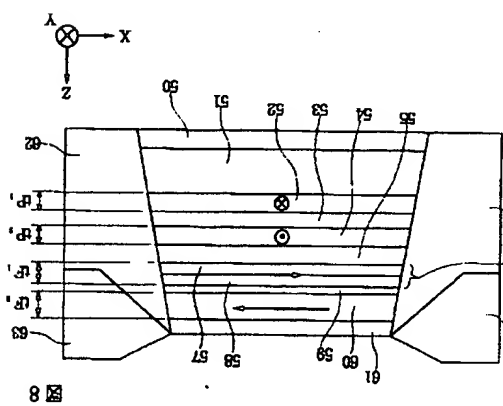


【图 5】

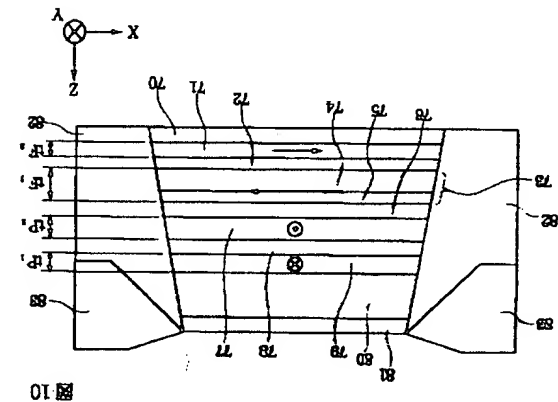


【図 6】

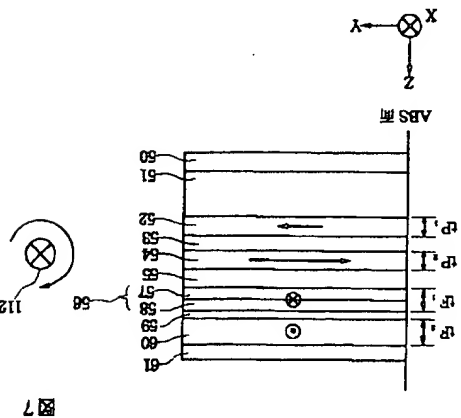




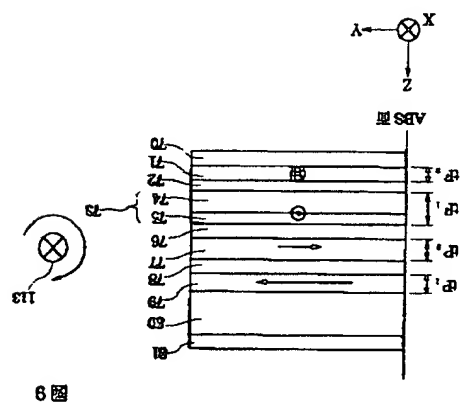
【図 8】



【図 9】



【図 7】



【図 11】

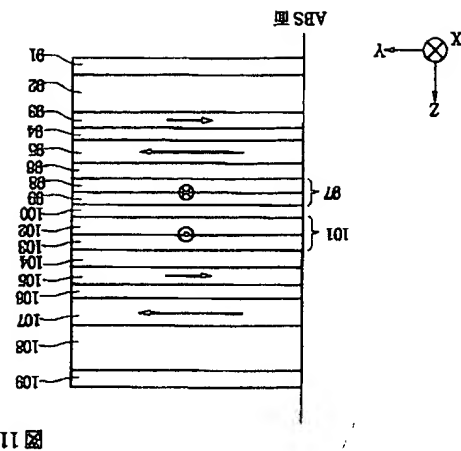


図 11

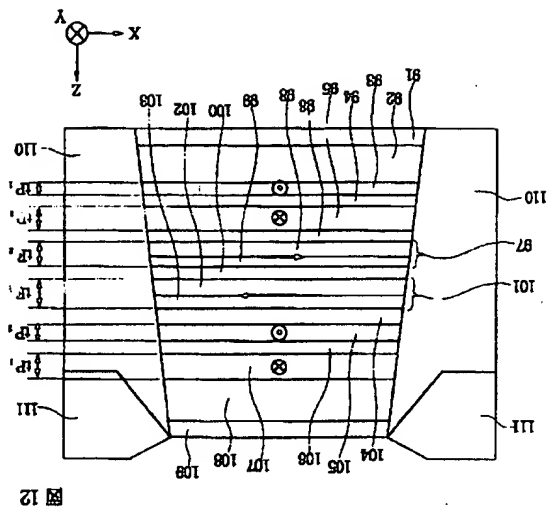
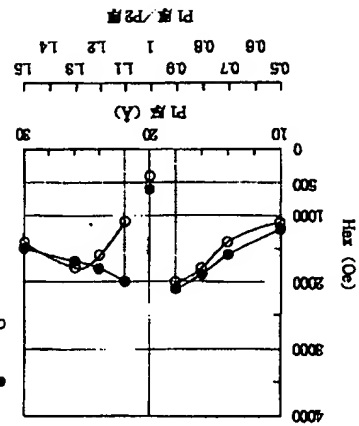
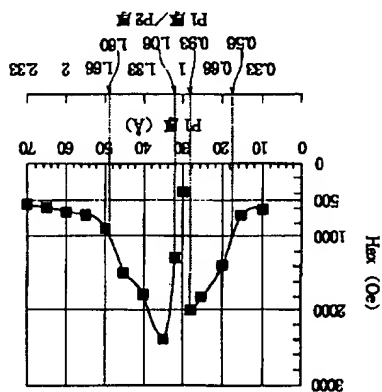


図 12

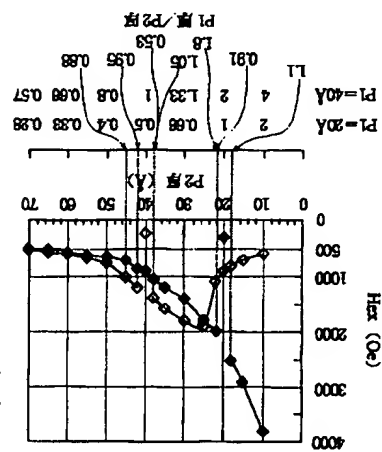
【図 12】



【図 18】



【図 16】



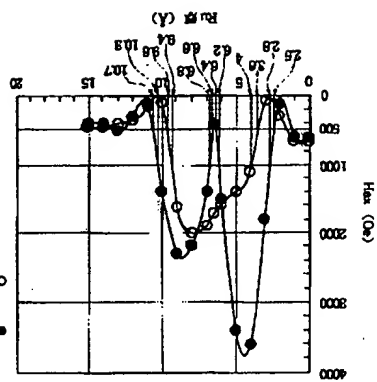
【図 14】

● P1(下)=25A と L、
○ P1(上)=25A と L、
P1(下)を變化させた時

図 18

■ P2=30A
図 16

図 14



● 反磁特性層がフリ-磁特性層
○ 反磁特性層がフリ-磁特性層
より上(トマソス)
より下(ボトム層)

図 19

【図 19】

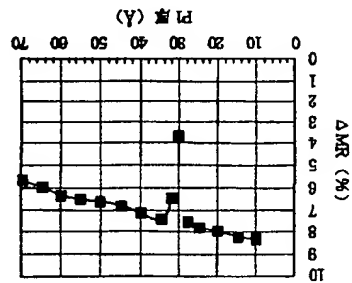


図 17

【図 17】

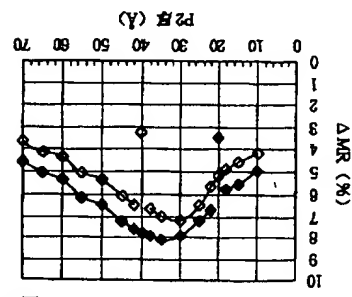


図 15

【図 15】

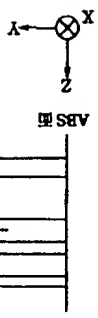
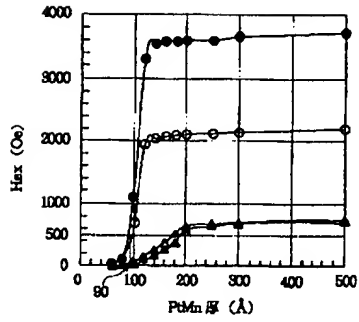


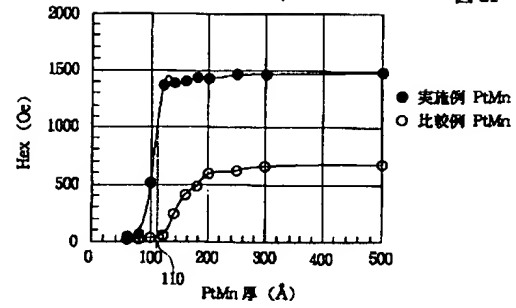
図 28

【図 28】

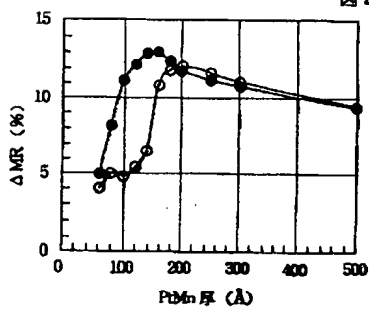
【図 20】



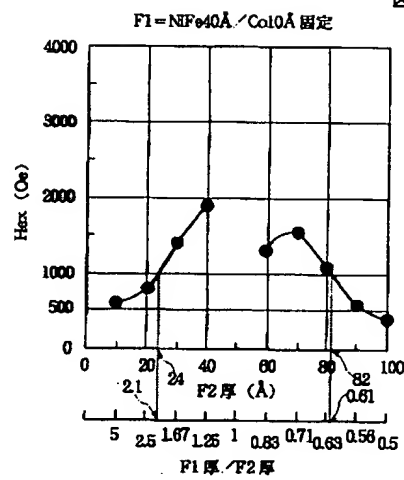
【図 21】



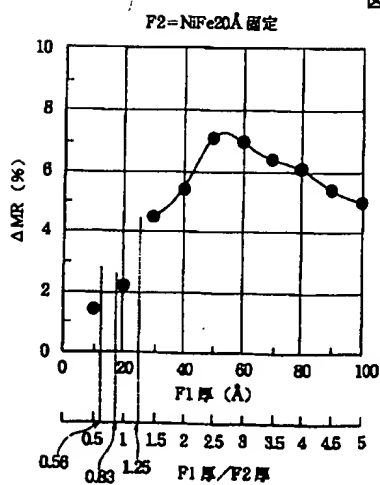
【図 22】



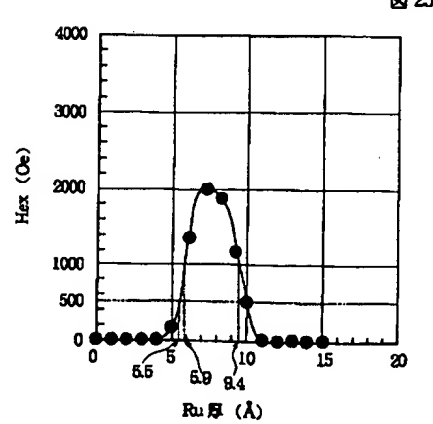
【図 23】



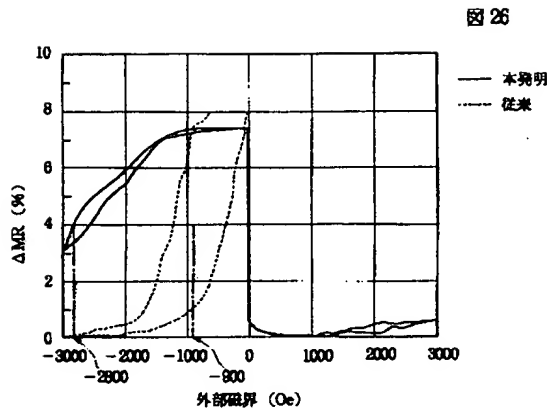
【図 24】



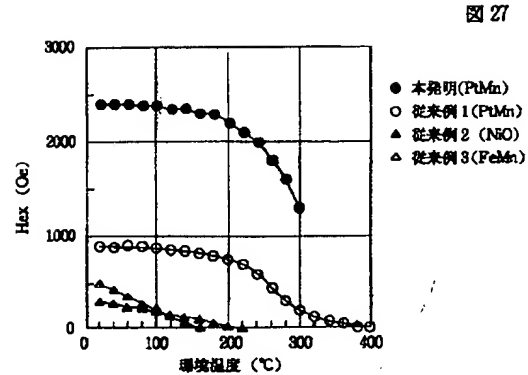
【図 25】



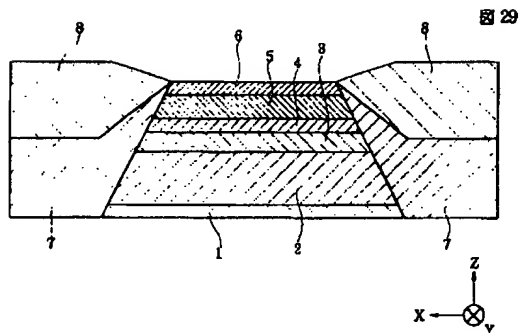
【図26】



【図27】



【図29】



【手続補正書】

【提出日】平成11年7月14日(1999. 7. 14)

【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0191

【補正方法】変更

【補正内容】

【0191】図1に示すスピンバルブ型薄膜素子では、非磁性導電層15の下側に第2の固定磁性層14が形成されている。この場合にあっては、第1の固定磁性層12及び第2の固定磁性層14のうち、磁気モーメントの大きい方の固定磁性層の磁化方向に、センス電流磁界の方向を合わせる。図1に示すように、前記第2の固定磁性層14の磁気モーメントは第1の固定磁性層12の磁気モーメントに比べて大きく、前記第2の固定磁性層14の磁気モーメントは図示Y方向と反対方向(図示左方向)に向いている。このため前記第1の固定磁性層12の磁気モーメントと第2の固定磁性層14の磁気モーメントとを足し合わせた合成磁気モーメントは、図示Y方向と反対方向(図示左方向)に向いている。

ントとを足し合わせた合成磁気モーメントは、図示Y方向と反対方向(図示左方向)に向いている。

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0192

【補正方法】変更

【補正内容】

【0192】前述のように、非磁性導電層15は第2の固定磁性層14及び第1の固定磁性層12の上側に形成されている。このため、主に前記非磁性導電層15を中心にして流れるセンス電流112によって形成されるセンス電流磁界は、前記非磁性導電層15よりも下側において図示左方向に向くように、前記センス電流112の流す方向を制御すればよい。このようにすれば、第1の固定磁性層12と第2の固定磁性層14との合成磁気モーメントの方向と、前記センス電流磁界の方向とが一致する。

【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0193

【補正方法】変更

【補正内容】

【0193】図1に示すように前記センス電流112は図示X方向に流される。右ネジの法則により、センス電流を流すことによって形成されるセンス電流磁界は、紙面に対して右回りに形成される。従って、非磁性導電層15よりも下側の層には、図示左方向（図示Y方向と反対方向）のセンス電流磁界が印加されることになり、このセンス電流磁界によって、合成磁気モーメントを補強する方向に作用し、第1の固定磁性層12と第2の固定磁性層14間に作用する交換結合磁界（RKKY相互作用）が増幅され、前記第1の固定磁性層12の磁化と第2の固定磁性層14の磁化の反平行状態をより熱的に安定させることが可能になる。

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0195

【補正方法】変更

【補正内容】

【0195】このような、非常に高い環境温度下で、し

かも大きなセンス電流が流れる場合にあっては、第1の固定磁性層12の磁気モーメントと第2の固定磁性層14とを足し合わせて求めることができる合成磁気モーメントの方向と、センス電流磁界の方向とが逆向きであると、第1の固定磁性層12の磁化と第2の固定磁性層14の磁化との反平行状態が壊れ易くなる。また、高い環境温度下でも耐え得るようにするには、センス電流磁界の方向の調節の他に、高いブロッキング温度を有する反強磁性材料を反強磁性層11として使用する必要があり、そのために本発明ではブロッキング温度が約400℃程度のPtMn合金を使用している。

【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0196

【補正方法】変更

【補正内容】

【0196】なお図1に示す第1の固定磁性層12の磁気モーメントと第2の固定磁性層14の磁気モーメントとで形成される合成磁気モーメントが図示右方向（図示Y方向）に向いている場合には、センス電流を図示X方向と反対方向に流し、センス電流磁界が紙面に対し左回りに形成されるようにすればよい。